

Nuno Manuel Rodrigues da Silva

*Potencialidade da valorização das lamas de depuração  
produzidas nas ETAR do Algarve*



Universidade do Algarve  
Instituto Superior de Engenharia  
2017

Nuno Manuel Rodrigues da Silva

*Potencialidade da valorização das lamas de depuração  
produzidas nas ETAR do Algarve*

**Dissertação para Mestrado em Ciclo Urbano da Água**

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Universidade do Algarve – Professor Doutor Jaime Aníbal

Águas do Algarve, S.A. – Doutor António Martins



Universidade do Algarve  
Instituto Superior de Engenharia  
2017

# **POTENCIALIDADE DA VALORIZAÇÃO DAS LAMAS DE DEPURAÇÃO PRODUZIDAS NAS ETAR DO ALGARVE**

## **Declaração de autoria de trabalho**

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Faro, 12 de junho de 2017

---

Nuno Manuel Rodrigues da Silva

Copyright © Nuno Manuel Rodrigues da Silva

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, com quanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores por terem depositado a sua confiança em mim para desenvolver esta dissertação, ao António Martins pelos conhecimentos, apoio e auxílio no traçar do caminho a seguir e ao Prof. Dr. Jaime Aníbal pelas suas análises sempre construtivas e, principalmente, por toda a sua paciência e determinação para comigo.

Ao Eng.º Joaquim Freire, por ter, em todo o que lhe foi possível, facilitado os estudos e o desenvolvimento do trabalho. Sem o seu apoio não teria sido possível avançar.

À entidade Águas do Algarve S.A. por permitir, fomentar e apoiar a formação contínua dos seus colaboradores.

Aos meus colegas de mestrado. Caminhar acompanhado torna o caminho a percorrer mais fácil.

À minha família, em particular à minha esposa Telma e ao meu filho Alexandre pela paciência, nem sempre é fácil...

Obrigado a todos.

## RESUMO

O Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho introduz o conceito de “Fim do estatuto de resíduo” para as lamas de ETAR e fomenta a sua reutilização e reciclagem, com o objetivo de prolongar o seu uso na economia.

A região do Algarve produz cerca de 30.000 toneladas matéria original por ano, das quais cerca de 88% são geradas em regime de produção regular, cerca de 73%, é transportada para fora da região, para serem submetidas a tratamentos adicionais, com elevados custos de transporte e subsequentes emissões de dióxido de carbono.

O objetivo do trabalho foi procurar formas para uma gestão integrada das lamas geradas nas ETAR do Sistema Multimunicipal de Saneamento do Algarve, tendo por critério base a procura de soluções dentro da região e a maximização do seu potencial de valorização em solos agrícolas e florestais.

Realizou-se o levantamento dos dados das ETAR do Algarve para o triénio de 2013 a 2015, na perspetiva quantitativa e qualitativa das lamas e detalhando aspetos associados a cada instalação.

De acordo com os valores representativos obtidos, verifica-se que a qualidade microbiológica é a principal condicionante para aplicação direta das lamas em solos agrícolas.

Apresentam-se um conjunto de elementos técnicos e económicos associados à gestão das lamas de ETAR que deverão merecer uma análise cuidada como forma de alargar as opções de encaminhamento final com soluções de proximidade.

Conclui-se que a sustentabilidade ambiental e económica pode ser melhorada adotando tratamentos complementares, desejavelmente nas instalações produtoras ou na sua proximidade, que paralelamente permitam acompanhar as tendências da legislação setorial europeia e nacional, bem como os objetivos do desenvolvimento sustentável vertidos no Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PENSAAR) pensados para o sector.

**Palavras chave:** águas residuais, lamas de depuração, valorização, sustentabilidade

## ABSTRACT

The Decree-Law No. 73/2011 of 17 June introduces the concept of "end of waste status" for sludge and promotes reuse and recycling in order to extend its use in the economy.

The Algarve region produces around 30,000 tonnes of raw material per year, of which about 88% is generated on a regular production basis, around 73% is transported out of the region, to be subjected to additional treatments, with high costs off transport and subsequent carbon dioxide emissions.

The purpose of this project was to look for ways for an integrated management of the sludge generated in WWTP of the Algarve, based on the search for solutions within the region and the maximization of its valorisation potential in agricultural and forest soils.

Quantitative and qualitative data were collected from the Algarve WWTP for the three-year period from 2013 to 2015, and detailing aspects associated with each installation were observed.

According to the representative values obtained, the microbiological quality is the main constraint for the direct application of sludge in agriculture.

A set of technical and economic elements associated with the management of WWTP sludge are presented to be analysed in order to extend the final routing options with proximity solutions.

It is concluded that environmental and economic sustainability can be improved by adopting complementary treatments, desirably at or near production facilities that simultaneously allow the monitoring of trends in European and national sectoral legislation, as well as the objectives of sustainable development within the Strategic Plan for Water Supply and Wastewater Sanitation (PENSAAR) designed for the sector.

**Keywords:** wastewater, sewage sludge, recovery, sustainability

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivo.....	2
1.3	Resíduos - Definição e Problemática.....	3
1.4	Tratamento de Águas Residuais .....	6
1.5	Linha Líquida.....	8
1.5.1	Tratamento Preliminar ou pré-tratamento.....	8
1.5.2	Tratamento primário .....	9
1.5.3	Tratamento secundário.....	9
1.6	Linha de Lamas .....	12
1.6.1	Características das lamas de depuração .....	14
1.6.2	Tratamento de lamas de depuração.....	15
1.7	Destino Final das Lamas de águas residuais.....	28
1.8	Aplicação de Lamas de Águas Residuais nos Solos.....	29
1.8.1	Matéria orgânica .....	30
1.8.2	Nutrientes.....	31
1.8.3	Azoto.....	32
1.8.4	Fósforo .....	33
1.8.5	Potássio .....	34
1.8.6	Fertilização.....	34
1.8.7	Riscos Potenciais .....	35
1.8.8	Características dos Solos.....	37
1.9	Utilização de Lamas na Compostagem .....	40
1.10	Secagem solar .....	41
1.11	Utilização de Lamas na Indústria .....	42
1.12	Incineração de Lamas.....	42
<b>2</b>	<b>ABORDAGEM METODOLÓGICA.....</b>	<b>44</b>
<b>3</b>	<b>ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO .....</b>	<b>46</b>
3.1	Deposição em aterro .....	50
3.2	Compostagem .....	50
3.3	Valorização agrícola .....	51



3.4	Tratamento das Lamas de Depuração das ETAR.....	52
4	CARATERIZAÇÃO DAS LAMAS DAS ETAR DO ALGARVE .....	55
4.1	Produção de lamas.....	58
4.1.1	Custos de deposição.....	71
5	APLICAÇÃO DE LAMAS DE ETAR NA AGRICULTURA DA REGIÃO .....	78
5.1	Atividade agrícola na região.....	79
5.2	Disponibilidade dos solos para receber lamas de ETAR.....	80
5.2.1	Disponibilidade dos solos .....	81
5.2.2	Fertilização.....	82
5.2.3	Toxicidade.....	85
6	LINHAS GERAIS DE GESTÃO.....	87
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
8	BIBLIOGRAFIA.....	91
9	ANEXOS .....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 4.1 - Localização e distribuição das ETAR no Algarve. Fonte: (Águas do Algarve, S.A., 2016).....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4.2 - Distribuição acumulada da produção de lamas.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 4.3- Distribuição da produção de lamas pelas 11 principais instalações produtoras de lamas da AdA, no período 2013 – 2015.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 4.4 - Volume de água residual tratada pelas 11 principais instalações produtoras de lamas, para o período 2013 – 2015.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 4.5 - Relação entre a produção de lamas e os caudais afluentes pelas 11 principais instalações produtoras de lamas da AdA .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 4.6 - Produção de lamas e capacidade de armazenamento.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 4.7 - Distribuição da produção anual (t/ano) por destino final das lamas, período 2013 a 2015. ....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 4.8- Percentagem de matéria seca média anual das lamas produzidas por instalação. ....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 5.1- Uso do Solo da região do Algarve. Fonte: (Agência Portuguesa do Ambiente, 2016).....</i>	<i>79</i>

## ÍNDICE DE QUADROS

<i>Quadro 1.1 - Dados de funcionamento dos filtros prensa para as lamas de ETAR Municipais. Adaptado de Wakeman, 2007. ....</i>	<i>25</i>
<i>Quadro 1.2 - Dados operacionais dos filtros de bandas. Adaptado de Wakeman, 2007. ....</i>	<i>26</i>
<i>Quadro 1.3 - Dados operacionais dos decantadores centrífugos para as lamas das ETAR Municipais. Adaptado de Wakeman, 2007.....</i>	<i>27</i>
<i>Quadro 3.1 - Tipologia de tratamento adotado nas ETAR da Águas do Algarve, S.A. ....</i>	<i>52</i>
<i>Quadro 4.1- Caracterização das lamas das 11 ETAR principais produtoras de lamas do Algarve de acordo com o Decreto-lei n.º 276/2009, de 2 de outubro. Fonte: Águas do Algarve, S.A., 2016. ....</i>	<i>57</i>
<i>Quadro 4.2- Valores limite de concentração de compostos orgânicos nas lamas destinadas à agricultura. ....</i>	<i>58</i>
<i>Quadro 4.3 - Produção geral de lamas e água residual tratada no sistema.....</i>	<i>58</i>
<i>Quadro 4.4 - Distribuição da produção de lamas pelas instalações.....</i>	<i>59</i>
<i>Quadro 4.5 - Resumo do volume de água residual tratada e produções de lamas das principais instalações geradoras de lamas .....</i>	<i>64</i>
<i>Quadro 4.6- Produção específica de lamas por instalação.....</i>	<i>65</i>
<i>Quadro 4.7 - Tipologia do tratamento e armazenamento de lamas nas instalações.....</i>	<i>66</i>
<i>Quadro 4.8- Variação da MS por instalação ao longo do Triénio.....</i>	<i>69</i>
<i>Quadro 4.9 - Evolução do preço unitário para deposição de lamas por instalação.....</i>	<i>71</i>
<i>Quadro 4.10 - Valores globais da deposição de lamas por instalação .....</i>	<i>72</i>
<i>Quadro 4.11- Percentagem de matéria seca obtida por tipologia de estabilização e sistema de desidratação das instalações .....</i>	<i>74</i>
<i>Quadro 4.12 - Potencial de redução de encargos no triénio por via do aumento da MS para o valor de referência de 20%.....</i>	<i>75</i>

<i>Quadro 4.13 - Disponibilidade de serviços para tratamento das lamas de ETAR.....</i>	<i>76</i>
<i>Quadro 4.14 - Análise geral e estimativa de custos para construção de uma estufa. ....</i>	<i>77</i>
<i>Quadro 5.1 - Área por tipo de localização, utilização e cobertura do solo na Região do Algarve. Fonte: Direção-Geral do Território.....</i>	<i>78</i>
<i>Quadro 5.2 - Dimensão das parcelas agrícolas da Região do Algarve, Continente e Portugal (2009). Fonte: Instituto Nacional de Estatística.....</i>	<i>82</i>
<i>Quadro 5.3 - Quantidades máximas de azoto, a aplicar nas culturas área de proteção da campina de Faro. Fonte: Portaria 704/2001.....</i>	<i>83</i>
<i>Quadro 5.4- Análise geral para eventual de aplicação de lamas no solo tomando por base as necessidades de Azoto.....</i>	<i>85</i>
<i>Quadro 5.5- Cálculo das quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidas nos solos cultivados, com base numa média de 10 anos.....</i>	<i>86</i>

## LISTA DE ABREVIATURAS

**AdA** – Águas do Algarve, S.A.

**Agro.Ges** – Sociedade de Estudos e Projectos, Lda.

**Algar** - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.

**CBO** - Carência Bioquímica de Oxigénio

**CE** - Comissão Europeia

**CQO** – Carência Química de Oxigénio

**EA** – Época Alta: de Junho a Setembro (inclusive), num total de 4 meses.

**EB** – Época Baixa: de Janeiro a Maio e de Outubro a Dezembro, num total de 8 meses

**ep** – equivalente de população

**ETAR** – Estação de tratamento de águas residuais urbanas

**GEE** - gases com efeito estufa

**hab.** - Habitantes

**LA** – Lamas ativadas de arejamento convencional

**LAS** – Alquila benzenossulfonatos lineares

**LER** - Lista Europeia de Resíduos

**LP** – Leito percolador

**MO** – Produção de lama expressa em matéria original

**MS** – Produção de lama expressa em matéria seca

**NMP** – Número mais provável

**PAH** - Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

**PENSAAR** - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais

**PERSU** - Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos

**POSEUR** - Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos

**SST** - Sólidos Suspensos Totais

**UE** – União Europeia

**UFC** – Unidades Formadoras de Colónias

**US EPA** - Enviromental Protection Agency dos Estados Unidos

**UV** – Ultravioleta

**UVC** – Ultravioleta de onda curta

**UWWT** - Diretiva Urbana para o Tratamento de Águas Residuais da União Europeia

**VO** – Valas de oxidação

**ZWIA** - Zero Waste International Alliance

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ENQUADRAMENTO

As lamas de depuração das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) ainda são encaradas como um resíduo de acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER 190805) previsto na *Portaria N.º 209/2004 de 3 de Março*, (2004), representando encargos elevados para as empresas gestoras de serviços de saneamento de águas residuais e uma preocupação no que respeita ao cumprimento integral da legislação em vigor. Na otimização dos circuitos de gestão deste resíduo é fundamental melhorar o tratamento e, consequentemente, a qualidade do produto, para promover a diversificação dos destinos finais das lamas e para que sejam encontradas as soluções que melhor se adaptem a cada realidade, em cumprimento com a legislação.

De forma a caracterizar qual a tendência de evolução da legislação a nível europeu e nacional para o sector, importa fazer a sua análise para que as empresas gestoras possam definir estratégias e adotar soluções técnicas adequadas, concorrendo a programas de financiamento tais como o **Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2020 (PENSAAR)**, **Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR)** e **Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos 2020 (PERSU)**.

O recurso à produção intensiva de alimentos, quer de natureza vegetal, quer de natureza animal, conduziu em muitas regiões ao uso maciço de adubos químicos, de pesticidas e de outros fatores de produção (Dias *et al.*, 2004).

Azoto e o fósforo são essenciais para o processo biogeoquímico das plantas encontrando-se em abundância nas lamas, que, quando corretamente aplicadas permitem reduzir o recurso aos adubos químicos, contribuindo para a recuperação dos nutrientes e para a gestão sustentável dos recursos (Comissão Europeia, 2015; Li *et al.*, 2012).

Torna-se assim relevante quantificar os fluxos dos nutrientes provenientes das lamas, colocando-os em perspetiva com outros resíduos ou adubos químicos (European Commission, 2010a).

A aplicação de lamas de ETAR em solos agrícolas representa, direta ou indiretamente, cerca de 90% do destino final das lamas produzidas em Portugal (Béraud *et al.*, 2015), à semelhança do que ocorre em Espanha, França, Itália, Reino Unido (European Commission, 2010c). Não obstante, essa valorização tem sido diminuta no Algarve, obrigando a que grande parte das lamas produzidas nesta região, sejam transportadas para outros locais do país para tratamento adicional, valorização e destino final, aumentando a pegada de carbono e os custos operacionais de gestão (Agro.Ges & Águas do Algarve S.A., 2005a).

Existem vários estudos que indicam a existência de benefícios para os solos agrícolas do ponto de vista agronómico, com particular enfoque nos países do sul da Europa e zona do Mediterrâneo, onde as condições hidro climáticas são diferentes do norte da Europa e os solos são pouco férteis e sujeitos à erosão. Neste aspeto, as lamas de depuração para além de acrescentarem matéria orgânica e nutrientes, melhoram a estrutura e a textura do solo, aumentando a sua humidade e a capacidade de retenção da mesma (Dias *et al.*, 2004; European Commission, 2010b; Navarro, 2013).

Face ao valor agronómico das lamas de depuração, justifica-se uma abordagem no enquadramento regional, que permita assegurar uma correta gestão dos fluxos e o alargamento das opções técnicas de valorização e destino final, contribuindo para a economia circular deste resíduo, designadamente através da reciclagem de nutrientes (Dias *et al.*, 2004).

Atualmente as lamas de depuração do Algarve têm tido como destino final preferencial a compostagem, com a entrada em vigor do *Decreto-lei n.º 103/2015 de 15 de junho*, (2015) respeitante às matérias fertilizantes, foram introduzidos alguns parâmetros adicionais e outros que apresentam valores limite mais restritivos do que o indicado no diploma legal da valorização agrícola (*Decreto-Lei 276/2009 de 2 de Outubro*), tornando relevante analisar o novo enquadramento legislativo.

## **1.2 OBJETIVO**

No presente trabalho, efetuou-se uma análise cruzada das características das lamas de depuração, em termos quantitativos e qualitativos, produzidas na região do Algarve, com um conjunto de boas práticas de tratamento e as respetivas opções de valorização e destino final. Resultante desta análise pretendeu-se contribuir no sentido da adoção e implementação de um

conjunto de soluções técnicas, associadas a tratamentos complementares que permitam alargar o leque de opções para o destino final das lamas, numa ótica de sustentabilidade ambiental que paralelamente assegure o cumprimento da legislação, convergindo para a valorização deste subproduto e para a otimização dos custos associados ao processo.

### **1.3 RESÍDUOS - DEFINIÇÃO E PROBLEMÁTICA**

Os resíduos são um componente básico resultante da nossa sociedade que não podemos ignorar nem conformar e devemos prosseguir na sua redução e correta gestão (Navarro, 2013). O Parlamento Europeu e o Conselho Europeu alertam para a necessidade de proteger a sociedade de potenciais impactes adversos no ambiente e na saúde pública, definindo uma abordagem e priorizando as ações de fluxo, nomeadamente: prevenção, preparação para reutilização, reciclagem, valorização energética e por último a eliminação quando as outras ações não são possíveis (European Commission, 2010a).

As próximas décadas irão continuar a acrescentar mudanças profundas no tamanho e na distribuição espacial da população global. Devido à urbanização contínua e ao crescimento global, as Nações Unidas projetam um aumento de 2,5 milhões de pessoas na população urbana em 2050 (United Nations, 2014).

Esta concentração da população acarreta uma série de problemas de gestão dos resíduos, onde se incluem problemas sanitários e ambientais. A produção global de resíduos está constantemente a aumentar, prevendo-se que a produção de resíduos atinja o seu pico em 2100, a menos que sejam implementadas medidas mais agressivas de sustentabilidade (Hoornweg, Bhada-Tata, & Kennedy, 2014).

O Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional através do *Decreto-Lei n.º 178/2006*, 2006 define resíduo como qualquer substância ou objeto de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer.

Atualmente existem muitos programas, políticas e estratégias, a serem estudadas e implementadas em muitos lugares do globo para a gestão de resíduos. O conceito “Zero resíduos” é um dos temas mais estudados e dos mais controversos na gestão de resíduos (Zaman, 2016).



De acordo com a *Zero Waste International Alliance* (ZWIA), o conceito “Zero Resíduos” é uma meta para orientar as pessoas de que é ético, económico, eficiente e visionário, adotar práticas para estimular os ciclos naturais sustentáveis, onde os materiais utilizados por uns, são projetados para se tornarem recursos para outros (Zero Waste International Alliance, 2009).

O conceito “Zero Resíduos” altera o paradigma do “fim de vida” de um produto e a sua abordagem como “resíduo”, abrindo lugar a um novo entendimento daqueles que podem ser os novos “recursos” de uma sociedade (Zaman, 2016). A gestão de resíduos passa a ser assente numa "economia circular", onde os resíduos da sociedade passam a ser tratados como recursos em transição, integrando neste conceito, as metas de gestão de resíduos sustentáveis e holísticas (Zaman, 2016).

Um outro aspeto decorrente da atividade humana, assenta na pegada ecológica e na capacidade regenerativa do planeta, por comparação entre o consumo e produção de recursos na região, permitindo avaliar o estado da segurança ecológica regional e o potencial para o desenvolvimento sustentável (Gao & Tian, 2015; Liu *et al.*, 2011).

A recuperação de recursos sob a forma de material, energia ou combustível a partir de resíduos, não só contribui diretamente para reduzir a necessidade de recursos da nossa sociedade, mas também poupa energia, água e reduz a produção de gases com efeito estufa (GEE) e reduz a pegada ecológica. Por outro lado, os benefícios dos sistemas de gestão de resíduos estendem-se para além dos económicos, como tendo um carácter ambiental determinante que não pode ser negligenciado (Zaman, 2016).

A Comissão Europeia pretende impulsionar a transição para uma economia mais circular, criando vantagens competitivas assentes numa economia sustentável para a Europa. A economia circular é uma oportunidade de desenvolvimento empresarial para combate à escassez de recursos, criação de emprego e redução da utilização dos recursos naturais. A estratégia passa por, a longo prazo, reduzir a deposição em aterro e aumentar a preparação para reutilização e reciclagem dos resíduos produzidos na União Europeia, com a adoção de políticas que incentivem os estados membros a investirem na gestão dos resíduos (Comissão Europeia, 2015).

Atualmente existe uma ampla tipologia de resíduos e muitas são as categorias e classificações que foram criadas, utilizando diversos critérios assentes na natureza do resíduo, na sua

perigosidade e na sua origem (Navarro, 2013). A classificação dos resíduos e o seu enquadramento é fundamental para uma correta gestão dos mesmos.

As lamas provenientes das águas residuais são um subproduto resultante do tratamento das águas residuais. Estas lamas contêm metais pesados, compostos orgânicos pouco biodegradáveis, bactérias, vírus e outros componentes que tornam a sua gestão complexa (Chen *et al.*, 2014; Seggiani *et al.*, 2012) Neste contexto, a gestão das lamas produzidas nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) deve ser acompanhada de estratégias de otimização operacional, técnica e económica, ao mesmo tempo que dão resposta às exigências legislativas europeias e nacionais. Idealmente a sua gestão deve integrar o conceito de zero resíduos, sendo encarado, não como resíduo, mas como subproduto integrante de uma economia circular que as aproveita para outros fins.

Ao nível da legislação europeia verifica-se uma tendência para aproximação dos modelos praticados nos países europeus do mediterrâneo, com características ambientais semelhantes.

As condições semiáridas do Mediterrâneo, juntamente com práticas agrícolas intensivas resultam em perdas de matéria orgânica dos solos, as lamas das ETAR podem ter um efeito favorável nos solos ao fornecer matéria orgânica sob os níveis recomendados para uma função produtiva adequada (Méndez *et al.*, 2012). Importa ainda considerar as semelhanças socioeconómicas destes países e a necessidade de se conseguirem soluções técnicas economicamente exequíveis, ambientalmente adequadas e que possam convergir para a redução de custos operacionais.

Os dados estatísticos da Comissão Europeia, acerca da produção total de lamas a partir de águas residuais domésticas, entre 2003 e 2013, mostra que alguns países da Europa aumentaram consideravelmente a sua produção (European Commission, 2016).

Atualmente a valorização agrícola (direta ou após compostagem), deposição em aterro e a incineração, são os destinos preferenciais para as lamas na Europa (Bennamoun, 2012). Ao destino final a adotar está inerente as características da lama, função da composição das águas residuais tratadas que as originaram, mas também do processo de tratamento que lhes está associado e que poderá determinar um destino final preferencial (Dai *et al.*, 2007; Bianchini *et al.*, 2015).

As ETAR efetuam o tratamento de águas residuais que afluem de forma intensiva e controlada, provenientes de áreas geralmente pequenas e num curto período de tempo, reproduzindo de forma artificial os ecossistemas. O seu funcionamento intrínseco produz lamas de depuração, que devem ser corretamente geridas (Navarro, 2013).

#### **1.4 TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

A água desempenha um papel importante no apoio e na manutenção da saúde humana e do desenvolvimento sustentável dos ecossistemas (UNESCO, 2015; Sun *et al.*, 2016). O aumento da população em áreas urbanas concentradas, durante os últimos séculos, acarretou vários problemas sanitários originados a partir da descarga de águas residuais no ambiente, os quais levaram a várias pandemias. Parte do problema foi resolvido com o desenvolvimento de sistemas de saneamento e com o desenvolvimento das tecnologias de tratamento das águas residuais (Pradel *et al.*, 2016).

Até aos anos 1970 o tratamento das águas residuais tinha como objetivos principais a remoção da matéria coloidal, suspensa e flutuante, o tratamento da matéria orgânica biodegradável e a eliminação dos microrganismos patogénicos. Estes objetivos obedeciam mais a critérios de índole estética e de saúde pública do que ambientais. Deste o início dos anos 70 até aos anos 80 os objetivos relacionados com o tratamento das águas residuais mantiveram-se, contudo com critérios envolvendo a remoção da Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e dos microrganismos patogénicos em padrões de exigência mais elevados. A remoção de nutrientes tais como Azoto (N) e Fósforo (P) começou também a ser uma preocupação, particularmente devido aos seus efeitos nos cursos de água interiores e lagos. Este alargamento das preocupações a outros componentes das águas residuais resultou de uma melhor compreensão dos impactes ambientais causados por descargas de águas residuais e o aprofundamento do conhecimento dos efeitos a longo prazo causados pela descarga para o ambiente de alguns componentes específicos. Paralelamente também se verificou um aumento para a consciência da necessidade de preservar o ambiente. A partir de 1980, como resultado dos avanços científicos, o tratamento de águas residuais começou a focar-se em questões de saúde relacionadas com a descarga de substâncias químicas tóxicas ou potencialmente tóxicas para o ambiente que poderiam ser responsáveis por problemas de saúde a longo prazo (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

O principal objetivo do tratamento das águas residuais nas ETAR é proteger as águas de superfície contra os efeitos nefastos das descargas de águas residuais.

No tratamento das águas residuais existem diferentes tipologias de soluções técnicas que podem ser adotadas. O tratamento a adotar resulta do grau e nível de tratamento que tem de ser atingido em determinada unidade de tratamento. Por trás desta questão está a proteção da saúde pública e do ambiente.

Alguns sistemas de tratamento menores, mas adequados, podem apresentar ganhos de eficiência de tratamento de estações de tratamento de água residuais urbanas maiores (European Environment Agency (EEA), 2013).

Os métodos de tratamento das águas residuais são constituídos basicamente por operações unitárias e unidades de processo. Nas operações unitárias predominam as forças físicas. Nas unidades de processo predominam a remoção de contaminantes por via de reações químicas ou biológicas (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

As operações unitárias e unidades de processo são agrupadas proporcionando diferentes níveis de tratamento conhecidos como:

- Preliminar ou pré-tratamento – consiste na remoção de sólidos grosseiros com recurso a gradagem e, ou tamizadores e um desarenamento e desengorduramento;
- Primário – consiste numa operação física de separação das substâncias flutuantes e sedimentáveis das águas residuais. Este processo, denominado sedimentação ou decantação, ocorre num órgão onde a velocidade do efluente é reduzida permitindo a estas substâncias depositarem-se e separar-se do líquido, nesta etapa podem ainda ser adicionados químicos que permitem a agregação de algumas substâncias e melhorar a sua decantação, constituindo-se assim um tratamento primário avançado;
- Secundário – No tratamento secundário são os processos biológicos e químicos realizados por microrganismos, que permitem remover grande parte da matéria orgânica e dos sólidos suspensos totais. No final desta etapa os efluentes normalmente apresentam um reduzido grau de poluição, podendo na maioria dos casos, serem despejadas no meio recetor. Aos processos secundários pode ser adicionada a desinfecção, designando-se o tratamento como mais avançado do que secundário;

- Terciário – O tratamento terciário adota operações unitárias e ou unidades de processo, adicionais a tratamento secundário para remover componentes que não são significativamente diminuídos pela etapa anterior. Frequentemente incluem-se nesta categoria a remoção adicional de nutrientes e sólidos, bem como micropoluentes orgânicos.

O tratamento secundário é o nível de tratamento mais usual e comum no tratamento das águas residuais, contudo a remoção de nutrientes e a desinfecção, são muito frequentes em determinadas circunstâncias de vulnerabilidade dos meios recetores ou de utilizações particulares dos efluentes (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Dentro de uma ETAR podemos destingir por diferentes linhas de tratamento:

- Linha Líquida – Onde é depurada a água residual propriamente dita, constituídas pelas operações unitárias e unidades de processo anteriormente referidas;
- Linha de Lamas – Decorrente das etapas de tratamento da água residual geram-se subprodutos denominados por lamas de depuração, ou simplesmente lamas, os quais são sujeitos a tratamentos específicos para posteriormente poderem ser valorizados e, ou encaminhados a destino final adequado;
- Linha de gás – Pode existir ou não nas ETAR, normalmente surge quando existe uma digestão anaeróbia das lamas produzidas na instalação.

## 1.5 LINHA LÍQUIDA

### 1.5.1 Tratamento Preliminar ou pré-tratamento

A primeira fase do tratamento consiste em reter os resíduos grosseiros (gradados) presentes na água, operação realizada por meio de uma gradagem com espaçamento entre os 10 e os 40 mm a qual pode ser seguida de outra etapa de tamisação com espaçamento inferior geralmente entre 3 e 6 mm. A produção de gradados pode variar entre 12 l/hab./ano para um espaçamento de 10 mm de gradagem e os 20 l/hab./ano considerando um espaçamento de 6 mm (Lyonnaise des eaux, 1994).

O desarenador retém as areias com dimensões superiores a 200 microns e o desengordurador remove parte das gorduras do efluente por injeção de micro bolhas de ar no líquido que

permitem fazer a flotação destas gorduras. As gorduras rejeitadas diariamente por cada habitante correspondem a cerca de 20 g/dia, um desgordurador bem dimensionado poderá permitir remover entre 15 a 20 % destas gorduras, representando cerca de 5 a 6 % do total da carga poluente afluyente expressa em Carência Química de Oxigénio (CQO) (Lyonnaise des eaux, 1994).

Em muitas instalações as etapas referentes ao desarenamento e desgorduramento encontram-se integradas no mesmo órgão.

#### 1.5.2 Tratamento primário

A decantação primária permite remover os sólidos sedimentáveis e alguma matéria suspensa no efluente por efeito da gravidade nos tanques de sedimentação (Lyonnaise des eaux, 1994). A decantação primária é utilizada como primeiro passo do tratamento de águas residuais permitindo eficiências que vão de 50 a 70% na remoção do SST e de 25 a 40% na remoção da CBO (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

A velocidade terminal da partícula é o principal parâmetro para determinar a configuração e o dimensionamento do órgão (Piro *et al.*, 2011). De forma geral estes órgãos podem ser retangulares ou circulares e podem ser dotados de lamelas ou da adição de reagentes para aumentar a sua eficiência (Weber, 1999).

A remoção da carga orgânica nesta fase ocorre sob a forma de lamas líquidas primárias, para além dos SST, CQO e CBO, outros poluentes tais como, Azoto (N) e Fósforo (P), são pouco afetados nesta fase exceto se ocorrer a adição de reagentes químicos com esse propósito (Lyonnaise des eaux, 1994).

#### 1.5.3 Tratamento secundário

O tratamento secundário, de uma forma geral, ocorre por processos biológicos e químicos realizados por microrganismos. Pretende-se nesta fase transformar os compostos das águas residuais em produtos finais mais simples e mais facilmente absorvidos pelo meio recetor.

A utilização de microrganismos permite oxidar partículas biodegradáveis dissolvidas e particuladas, capturar e incorporar sólidos colidais suspensos e não sedimentáveis no floco biológico ou bio filme, transformar ou remover nutrientes tais como o azoto ou o fósforo e, em alguns casos, remover alguns componentes e compostos orgânicos específicos (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Os diferentes processos de depuração podem ser classificados em aeróbios ou anaeróbios, dependendo do tipo de microrganismos utilizados, sendo os processos aeróbios os mais utilizados para o tratamento das águas residuais urbanas (Lyonnaise des eaux, 1994)

Dentro dos sistemas de tratamento biológico aeróbios, os sistemas de biomassa fixa, como por exemplo os sistemas de leitos percoladores e os sistemas de biomassa em suspensão, como os sistemas de lamas ativadas, são os mais usuais. Não obstante, sistemas de lagunagem e leitos de plantas, também são muito comuns para pequenas comunidades.

Sistemas de biomassa fixa – Os sistemas de biomassa fixa utilizam culturas bacterianas fixas em meios de suporte que podem ser de diferentes naturezas (plásticos ou minerais tais como pedras) sobre os quais a água residual a tratar escorre. O seu desempenho no tratamento da água residual é modesto, exigindo grandes recirculações do efluente a tratar, contudo esta técnica pode constituir um tratamento adequado caso o meio recetor não seja muito sensível (Lyonnaise des eaux, 1994).

Sistemas de lamas ativadas – O tratamento da água residual é assegurado por via de bactérias aeróbias mantidas em suspensão dentro de reatores biológicos (lamas ativadas). O efluente necessita de receber oxigénio, através de turbinas de arejamento ou compressores, para assegurar a ação metabólica dos microrganismos (Navarro, 2013). A formação de flocos por parte das bactérias permite realizar a sua separação da água tratada por simples decantação e a recirculação de uma parte da massa de lamas ativadas, separada no decantador secundário, para o reator biológico (Lyonnaise des eaux, 1994).

Para que o processo decorra de forma normal, deve existir um equilíbrio entre os microrganismos mantidos no reator biológico e o “alimento” fornecido na água residual, decorrente deste equilíbrio as lamas em excesso que se vão formando dão origem às lamas secundárias que, periodicamente, são purgadas para a linha de lamas.

Os valores da relação Alimento/Microrganismo (F/M) são divididos em 3 intervalos, que caracterizam as variantes dos sistemas de lamas ativadas. Os sistemas com valores muito elevados da relação F/M no tanque de arejamento e baixo tempo de permanência dos microrganismos nos reatores biológicos denominam-se processos em alta carga ou de arejamento rápido, estes sistemas registam elevadas taxas de absorção e síntese da matéria orgânica, elevada taxa de multiplicação dos microrganismos e de consumo do oxigénio

(Lyonnaise des eaux, 1994). As águas residuais previamente devem ser submetidas a tratamento preliminar e primário.

Os sistemas de média carga apresentam uma menor relação F/M no reator biológico em comparação com os de alta carga, apresentam um rendimento superior da ordem dos 90% na remoção das cargas afluentes, contudo as águas residuais devem ser submetidas a pré-tratamento e a decantação primária (Lyonnaise des eaux, 1994; Tchobanoglous *et al.*, 2003)

Em ambos os casos as lamas em excesso apresentam uma elevada atividade biológica carecendo de estabilização. As lamas provenientes destes sistemas são propensas a sistemas de digestão anaeróbia.

Os sistemas de baixa carga ou de arejamento prolongado têm valores muito baixos da relação F/M os microrganismos e a água residual são mantidos em contacto durante um período bastante elevado. A falta de alimento origina a metabolização celular dos próprios microrganismos num processo de auto oxidação, que reduz a matéria orgânica destas lamas tornando-as pouco disponíveis para processos subsequentes de digestão anaeróbia (Lyonnaise des eaux, 1994; Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Desinfecção – O impacte de águas residuais não tratadas nas massas de água das comunidades, elevou as preocupações ao nível da saúde e da segurança (US EPA, 1999), neste aspeto, a que ter em consideração, que a descarga das águas residuais na linha de água não deve provocar alteração da sua qualidade que ponha em risco os seus usos. Por outro lado, quando se considera a reutilização da água residual, a desinfecção torna-se uma parte necessária do tratamento para garantir a segurança na sua utilização (Guo *et al.*, 2009).

Os microrganismos mais relevantes presentes nas águas residuais incluem bactérias entéricas, vírus e protozoários (US EPA, 1999).

Dentro das técnicas de desinfecção de águas residuais mais usuais, destacam-se três tecnologias:

1. Desinfecção de cloro – processo químico
2. Desinfecção por Ozono – processo físico
3. Desinfecção por ultravioletas (U.V.) – processo físico

Tratamento terciário - O tratamento terciário é o tratamento mais completo para remover contaminantes residuais que não foram completamente eliminados nas etapas anteriores.



Os principais mecanismos para a remoção de micropoluentes em ETAR convencionais ocorre durante o tratamento secundário em sistemas de lamas ativadas (Moreira *et al.*, 2016 e Verlicchi *et al.*, 2012), contudo alguns estudos têm mostrado que os tratamentos convencionais nas ETAR são ineficientes para uma remoção eficaz destes compostos (De la Cruz *et al.*, 2013 e Michael *et al.*, 2013).

Remoções mais efetivas só são conseguidas por processos de membranas (tais como microfiltração, ultrafiltração, osmose inversa e nanofiltração) (Peters, 2010), UVC fotólise (De la Cruz *et al.*, 2013), processos oxidativos avançados como a ozonização (Huber *et al.*, 2005), UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, foto-Fenton/ UVC (Dantas *et al.*, 2003 e De la Cruz *et al.*, 2013) foto-Fenton solar e eletroquímicos como a oxidação anódica e fotoelectro-Fenton solar (Moreira *et al.*, 2016).

Este tipo de tratamento é adotado em zonas onde é necessária uma maior proteção dos ecossistemas e dos recursos de água contra os micropoluentes (De la Cruz *et al.*, 2013).

## **1.6 LINHA DE LAMAS**

O termo “lamas” é frequentemente utilizado em conjugação com a etapa de origem “lamas primárias”, “lamas secundárias”, as quais são compostas essencialmente pelas matérias que compõem o efluente, conjuntamente com os aditivos químicos aplicados e a massa bacteriana em excesso que participa do processo de tratamento (Navarro, 2013). Assim, a produção e características de lamas são altamente dependentes da composição das águas residuais e o tratamento utilizado (Uggetti *et al.*, 2010).

O termo “Lamas” foi utilizado durante muitos anos como referindo-se à fração sólida resultante do tratamento das águas residuais. Em 1994 a “Water Environment Federation” adotou a definição de “bio sólidos” como fração orgânica e sólida, derivada do tratamento de águas residuais que pode ser reciclada com benefícios. Nesta definição incluem-se os sólidos que sofram um tratamento a ponto de poderem ser utilizados com benefícios. (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

Os sólidos e bio sólidos removidos das diversas etapas de tratamento da linha líquida são geralmente concentrados numa fase com uma fração entre 0,25 e 12% de sólidos, dependendo da operação e processo utilizados (Tchobanoglous *et al.*, 2003). A maior parte deles são

compostos orgânicos, com uma ampla gama de teores de sólidos voláteis (50-80%), geralmente a partir de 75% a 80% de um teor de sólidos totais (von Sperling *et al.*, 2007).

Os principais objetivos das diversas etapas da linha de lamas são aumentar a concentração total dos sólidos de forma a reduzir o seu volume (i.e. espessamento e desidratação) ou diminuir a concentração de sólidos voláteis e estabilizar a fração biodegradável da matéria orgânica (Uggetti *et al.*, 2010)

Embora as lamas representem apenas 1% a 2% do volume de água residual tratada, a sua gestão é muito complexa representando um custo variável entre 20% e 60% dos custos totais de gestão da estação de tratamento de águas residuais (von Sperling *et al.*, 2007).

De acordo com Tomei *et al.* (2016) a complexidade da gestão de tratamento de lamas inclui a escolha do tratamento mais adequado e envolve muitas opções possíveis que levam em consideração a composição das lamas, balanços de massas, variações das características das lamas, compostos potenciadores e inibidoras presentes nas lamas e o destino final. Os múltiplos critérios a ter em consideração para os objetivos pretendidos, aumentam a complexidade do processo de seleção do tipo de tratamento mais adequado para as lamas de depuração (Garrido-Baserba *et al.*, 2014).

Na visão atual, a sustentabilidade só é atingida quando se conseguem colocar em equilíbrio os 3 elementos da sustentabilidade, especificamente o ambiental, económico e social (Adams, 2006).

Os sistemas de gestão de lamas revelam-se muitas vezes ineficientes e insustentáveis, no equilíbrio dos elementos anteriormente mencionados. Daqui resulta a necessidade de desenvolver procedimentos de gestão de lamas sustentáveis envolvendo (Spinosa *et al.*, 2011):

- Uma avaliação das rotas de gestão capazes de maximizar os benefícios de reciclagem / recuperação através de sistemas de baixo impacto energético;
- O desenvolvimento de processos inovadores e de sistemas operacionais adequadas às circunstâncias locais, incluindo economia, geografia, clima, etc.

Será de esperar, face às crescentes exigências da sociedade e ambientais, um aumento dos índices do tratamento das águas residuais e consequentemente um aumento das lamas produzidas, sendo a sua gestão um fator fundamental para o sucesso do sistema de saneamento.

### 1.6.1 Características das lamas de depuração

As características das lamas de depuração dependem da sua origem (efluente doméstico, urbano, industrial condicionado pelo tipo de indústria, etc...) mas também do órgão ou etapa de tratamento que as origina. Para um adequado tratamento destas lamas é importante conhecer as suas características básicas (Tchobanoglous *et al.*, 2003):

- Lamas primárias – As lamas resultantes dos decantadores primários, são geralmente de cor escura cinza, viscosas e com forte odor com grande propensão para a fermentação.
- Lamas resultantes de precipitação química – Lamas químicas resultantes da precipitação com sais de metal são geralmente negras e podem ter traços avermelhados na superfície no caso de conterem muito ferro. As lamas resultantes da aplicação de cal são geralmente cinzentas acastanhadas. O seu odor é forte mas não tão desagradável quanto o das lamas primárias. O seu processo de degradação é semelhante ao das lamas primárias mas numa taxa mais lenta. Caso permaneça muito tempo em tanques de armazenamento, a sua densidade tende a aumentar à medida que vai libertando gás.
- Lamas ativadas – As lamas biológicas apresentam uma coloração acastanhada e aspeto de floco. Quando a cor começa a ficar escura indicia o aparecimento de condições sépticas. Em condições normais o odor libertado por estas lamas é inofensivo ao olfato. Tendencialmente estas lamas caminham para uma rápida degradação e para a putrefação em condições de anaerobiose.
- Lamas de sistemas de biomassa fixa – Estas lamas apresentam cor acastanhada com aspeto de flocos e com baixo odor quando “frescas”. A sua degradação é relativamente lenta quando comparada com outras lamas.
- Lamas digeridas de forma aeróbia – As lamas digeridas de forma aeróbia apresentam cor acastanhada escura e aparência de floco. O seu odor não é ofensivo ao olfato sendo semelhante a cheiro a mofo. As lamas com uma boa digestão aeróbia são facilmente desidratadas em leitos de secagem.
- Lamas digeridas de forma anaeróbia – As lamas digeridas pelo processo anaeróbio apresentam cor escura e grandes quantidades de gás. O seu odor não é muito forte e tende a enfraquecer. As lamas primárias digeridas de forma anaeróbia produzem cerca

do dobro do gás metano produzido pelas lamas ativadas. Após desidratação estas lamas deixam um odor semelhante a terra de jardim.

- Composto – O composto resultante da mistura das lamas com outros bio sólidos apresentam uma cor acastanhada / escura dependendo do tipo de bio sólidos adicionados. O seu odor é inofensivo e semelhante ao dos fertilizantes para jardim.

Os parâmetros característicos destas lamas em relação à matéria seca são (Lyonnaise des eaux, 1994):

- Matéria orgânica      45 a 70 %
- N<sub>total</sub>                      2 a 6 %
- P (em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)              3 a 7 %
- K (em K<sub>2</sub>O)              0,3 a 0,5 %

Por observação dos teores mencionados anteriormente, verifica-se que de um ponto de vista agronómico os teores N-P-K não são equilibrados, sendo necessário fazer algumas correções para obter a completa disponibilidade dos elementos.

#### 1.6.2 Tratamento de lamas de depuração

As lamas do processo de tratamento são na generalidade muito fermentáveis e muito diluídas, ao longo da linha de lamas os objetivos principais passam por reduzir a sua capacidade de fermentar e reduzir o seu volume.

A redução de volume permite obter uma lama de manipulação mais fácil e de fermentação reduzida, através da redução da matéria orgânica instável e dos agentes patogénicos estes objetivos assentam em dois processos fundamentais (Lyonnaise des eaux, 1994; Navarro, 2013; von Sperling *et al.*, 2007):

- **Espessamento e desidratação:** Essencialmente visa aumentar a concentração de sólidos e reduzir o volume, facilitando as operações de armazenamento, transporte e posterior valorização do produto.
- **Estabilização:** Visa reduzir a matéria orgânica instável e a carga patogénica. Esta estabilização pode ocorrer por via química, térmica ou biológica sendo esta última a

mais usual. No caso da via biológica por digestão, ocorre ainda a redução da quantidade de sólidos voláteis.

### **1.6.2.1 Espessamento**

Normalmente o espessamento de lamas é realizado para reduzir o volume e aumentar o teor de sólidos, de forma a conseguir uma lama com a concentração adequada para os processos de desidratação seguintes. Os processos de espessamento de lamas mais comuns incluem espessamento gravítico, espessamento por flotação com ar dissolvido, espessamento por centrifugação, entre outros (Zhu *et al.*, 2012).

Espessamento gravítico na decantação primária – O espessamento gravítico das lamas pode ocorrer logo nos decantadores primários conjuntamente com a decantação primária. O tempo de retenção dos sólidos nesta fase é de cerca de 12 a 24 horas. Um tempo de retenção excessivo pode provocar condições de septicidade no decantador levando à formação de gás e à redução dos níveis de remoção de SST, CBO e CQO do Decantador (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

As lamas primárias podem apresentar uma concentração de sólidos de 2 a 6 % (Tchobanoglous *et al.*, 2003; von Sperling *et al.*, 2007).

Espessamento gravítico – O espessador gravítico, normalmente é um órgão com configuração cilíndrica e base cônica, onde as lamas se concentram e de onde são posteriormente retiradas. A entrada das lamas para espessamento ocorre pela parte central e o sobrenadante / água separada das lamas, sai pela zona superior.

Os espessadores gravíticos são mais eficientes para concentração de lamas primárias do que para as lamas secundárias, a lama primária pode ser concentrada entre 5 a 10 % e a lama secundária entre 2 a 3 % (Tchobanoglous *et al.*, 2003; von Sperling *et al.*, 2007).

Estes órgãos podem ter alguns problemas nomeadamente a sua eficiência de espessamento é relativamente baixa, tendência para libertar o fósforo quando os tempos de retenção são muito longos e para a emissão de odores desagradáveis (Zhu *et al.*, 2012).

Espessamento por flotação – O espessamento por flotação é um processo mais eficaz quando aplicado às lamas ativadas. O ar é introduzido numa solução com as lamas a elevada pressão e quando é libertado o ar dissolvido em pequenas bolhas leva as lamas para a superfície onde são removidas por raspagem (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Este processo permite concentrar a lama para valores entre 2 e 5 % (von Sperling *et al.*, 2007).

É uma solução que ocupa menor espaço quando comparado com o espessamento gravítico, contudo tem maiores custos de exploração e não permite armazenar lamas no seu interior (Navarro, 2013).

Espessamento por centrifugação – A centrifugação pode ser utilizada tanto para espessamento como para desidratação das lamas. A sua aplicação para espessamento está limitada às lamas ativadas. A concentração das lamas ocorre pela ação de forças centrífugas dentro do tambor do equipamento sem necessidade de adição de polímeros, contudo utilização dos polímeros permite aumentar a eficiência do processamento.

O método tem vantagens quando o espaço disponível é limitado e existem equipas de operação especializadas para trabalhar com o equipamento.

A centrifugação permite concentrar a lama para valores entre 3 e 7 % (von Sperling *et al.*, 2007).

Espessamento com filtro de banda – O espessamento ocorre numa banda porosa que se desloca sobre rodos. A lama a espessar é condicionada com polímeros que facilitam a sua agregação em flocos, ao ser distribuída uniformemente pelo filtro de banda a água vai drenando pelos poros e separa-se por gravidade atravessando a tela à medida que esta se desloca.

Esta técnica permite receber lamas muito diluídas e concentra-las até 5 a 7 % com aplicação de 3 a 7 kg de polímero por tonelada de MS (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Espessamento com tambor rotativo - É um sistema adaptado para espessamento das de lamas ativadas. Ocorre a mistura das lamas com um polímero seguindo-se uma passagem por um tambor com pequenas ranhuras que separam os sólidos floculados da água. O espessamento chega a atingir valores entre 3 e 4% de MS (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Este tipo de espessamento apresenta vantagens ao nível da baixa manutenção exigida, baixo consumo de energia e pequeno espaço requerido para a instalação.

#### **1.6.2.2 Estabilização**

O aumento na produção de lamas de depuração tem vindo a criar uma pressão considerável sobre a sua gestão e eliminação (Lloret *et al.*, 2013). Por outro lado a maioria das lamas de depuração contêm nutrientes que poderiam ser utilizados para fertilizar o solo, incrementar a produção agrícola e melhorar algumas propriedades físicas e químicas do solo, tais como a sua

estrutura, humidade e porosidade, fornecer nutrientes para as plantas, aumentar o teor de húmus e a capacidade de troca catiónica, bem como promover a atividade biológica (Barzegar *et al.*, 2002; Speir *et al.*, 2003).

Para este tipo de aplicação é particularmente significativa a necessidade das lamas de depuração serem estabilizadas, de forma a reduzir os agentes patogénicos, eliminar problemas de odor e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação (Bahar & Ciggin, 2016; Tchobanoglous *et al.*, 2003).

A *Environmental Protection Agency* dos Estados Unidos (US EPA) na Regra da Seção 503 (US EPA, 1994) define dois tipos de bio sólidos no que diz respeito à redução de patogénicos: Classe A (sem patogénicos detetáveis) e Classe B (um nível reduzido de agentes patogénicos). Ambas as classes são seguras, para aplicação nos solos mas são necessários requisitos adicionais com materiais da Classe B.

Estabilização alcalina – No processo de estabilização alcalina realiza-se a adição de cal às lamas não tratadas em quantidade suficiente para elevar o pH a 12 ou superior. O pH elevado cria um ambiente que para ou retarda consideravelmente as reações microbiológicas. Neste estágio as lamas não irão colocar riscos para a saúde, desde que o pH se mantenha elevado a este nível. O processo inativa vírus, bactérias e outros microrganismos presentes (US EPA, 2000; Tchobanoglous *et al.*, 2003).

A estabilização alcalina pode atingir os requisitos mínimos para ambas as Classes de bio sólido (Classe A e Classe B) no que diz respeito aos agentes patogénicos, dependendo da quantidade de material alcalino adicionado (US EPA, 2000).

Normalmente a estabilização alcalina satisfaz as exigências da Classe B, quando o pH da mistura se mantém superior a 12 durante um período 2 horas de contacto (US EPA, 2000).

A Classe A pode ser alcançada quando o pH da mistura é mantida acima de 12 durante pelo menos 72 horas, com uma temperatura de 52 ° C mantido durante pelo menos 12 horas, durante este período (US EPA, 2000).

O processo apresenta algumas vantagens nomeadamente (US EPA, 2000):

- É coerente com uma política de reutilização ao atingir produtos de Classe A e B;
- A tecnologia é de simples aplicação requerendo apenas algumas técnicas de operação;

- É de fácil construção;
- Requer pequenas áreas de instalação;
- A operação é muito flexível no que respeita a iniciar e a parar.

No campo das desvantagens podem ser indicadas (US EPA, 2000):

- O produto resultante não é adequado para utilização em todo o tipo de solo. Por exemplo, solos alcalinos não irão beneficiar da adição de um material de pH elevado.
- O volume de material a movimentar é aumentado em cerca de 15 a 50 por cento em comparação com outras técnicas de estabilização, tais como a digestão.
- O aumento do volume resulta em maiores custos de transporte.
- Há potencial para a geração de odores tanto no local de processamento como de utilização final.
- Existe um potencial para a produção de pó.
- Existe um potencial para novo crescimento de agentes patogénicos, se o pH cair abaixo de 9,5, quando o material é armazenado antes de ser utilizado.
- O teor de azoto no produto final é menor do que em vários outros produtos bio sólidos. Durante o processamento o azoto é convertido a amónia e perdido para a atmosfera através da volatilização. Além disso, a quantidade disponível de fósforo também pode ser reduzida através da formação de fosfato de cálcio.

A estabilização alcalina dos bio sólidos ajuda a criar condições no solo em que os metais são insolúveis minimizando a sua absorção pelas plantas e a sua movimentação para os lençóis freáticos. Os solos com baixo pH beneficiam muito deste tipo de aplicação (US EPA, 2000).

Estabilização por digestão anaeróbia - A digestão anaeróbia é um processo biológico que utiliza bactérias que funcionam num ambiente livre de oxigénio para converter sólidos voláteis em dióxido de carbono, metano e amoníaco. Estas reações ocorrem num órgão fechado que pode, ou não, ser aquecido. (Lyonnaise des eaux, 1994; Tchobanoglous et al., 2003; US EPA, 2003).

Durante a digestão anaeróbia da matéria orgânica dos monossacarídeos, aminoácidos e ácidos gordos de cadeia longa, formam-se os produtos da hidrólise, nomeadamente ácidos gordos



voláteis (acetato, butirato, lactato, etc.) e o hidrogénio. Todos eles são os precursores para a produção de metano (Mani *et al.*, 2016).

A produção de metano a partir de resíduos pode, potencialmente, reduzir emissões de CO<sub>2</sub> através da produção de energia renovável e paralelamente reduzir as emissões de gás com efeito estufa, a partir do gás metano (Mes *et al.*, 2003). A digestão anaeróbia das lamas de depuração nas ETAR pode, em alguns casos, produzir biogás suficiente para suprir muitas das necessidades energéticas da instalação (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

O processo de digestão anaeróbia pode ser subdividida em quatro fases seguintes, cada uma exigindo seu próprio grupo característico de microrganismos (Lyonnaise des eaux, 1994; Mes *et al.*, 2003):

1. Hidrólise: conversão de biopolímeros não-solúveis em compostos orgânicos solúveis;
2. Acidogénese: conversão de compostos orgânicos solúveis em ácidos gordos voláteis (AGV) e CO<sub>2</sub>;
3. Acetogénese: conversão de ácidos graxos voláteis em acetato e H<sub>2</sub>;
4. Metanogénese: conversão de acetato, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> em gás metano (CH<sub>4</sub>)

A hidrólise é o passo limitante da velocidade na digestão anaeróbia em geral. A acidogénese, após a hidrólise, é o passo mais rápido durante a digestão anaeróbia de matéria orgânica complexa (Mani *et al.*, 2016).

As bactérias acidogénicas excretam enzimas para a hidrólise e convertem os compostos orgânicos solúveis em ácidos gordos voláteis e álcoois. Estes são então convertidos por bactérias acetogénicas em ácido acético, hidrogénio e dióxido de carbono. Em seguida as bactérias metanogénicas usam o ácido acético, o hidrogénio e dióxido de carbono para produzir metano (Mes *et al.*, 2003).

O processo da digestão é dividido em psicrófila para temperaturas (10-20 °C), mesófila (20-40 °C), ou termófila (50-60 °C). Como o crescimento bacteriano e os processos são mais lentos sob baixas condições de temperatura, a digestão psicrófila requer um tempo de retenção mais longo, resultando em reatores com maiores volumes. A digestão termofílica é especialmente adequada quando os resíduos (água) é descarregada a uma temperatura elevada ou quando a remoção de agentes patogénicos é relevante (Mes *et al.*, 2003).

As vantagens da estabilização de lamas de depuração pelo processo de digestão anaeróbio são (Lyonnaise des eaux, 1994; Mes *et al.*, 2003):

Fornecimento de energia renovável a partir do metano produzido;

1. Baixo consumo de energia no processo;
2. Redução dos sólidos processados;
3. Facilidade na posterior desidratação das lamas;
4. Produção de uma matéria final estabilizada;
5. Boa retenção nas lamas dos nutrientes de fertilização N, P e K;
6. Boa capacidade de absorção de cargas elevadas;
7. O espaço ocupado é relativamente baixo quando comparado com os sistemas convencionais aeróbios.

Nas desvantagens desta solução indicam-se (Lyonnaise des eaux, 1994; Mes *et al.*, 2003):

1. Elevada sensibilidade das bactérias metanogénicas a um vasto número de químicos;
2. O arranque do sistema pode ser demorado e complexo;
3. Com a presença de sulfatos na água residual o processo pode ter muitos odores e levar à produção elevada de gás sulfídrico;
4. Os custos de investimento são elevados;
5. Promove retornos à cabeça de azoto amoniacal o que pode ser problemático caso exista a necessidade de remover o azoto do efluente.

Os sistemas de digestão anaeróbia permitem reduzir os sólidos suspensos voláteis entre 35 a 60 % (US EPA, 2003). No entanto um aspeto a ter em conta é o tipo de tratamento das águas residuais que lhe está associado, por norma sistemas de tratamento em alta ou média carga. Os sistemas de arejamento prolongado apresentam lamas estabilizadas pela via aeróbia.

A digestão anaeróbia que atenda aos tempos de retenção e às temperaturas exigidas, normalmente reduz a população bacteriana e os agentes patogénicos em 90%. Os ovos viáveis de helmintes não são substancialmente reduzidos sob condições mesófilas (US EPA, 2003).

Estabilização por digestão aeróbia - Os processos que participam na digestão aeróbia são processos biológicos semelhantes aos dos sistemas de lamas ativadas (Bahar & Ciggin, 2016). Durante a digestão aeróbia, os microrganismos consomem o material celular, passando por um processo de decomposição endógena no qual não existe a adição de fontes de carbono externas (Özdemir *et al.*, 2014; Bahar & Ciggin, 2016).

Na digestão aeróbia, a matéria orgânica é oxidada libertando dióxido de carbono, nitrato e fosfato, bem como calor. Neste processo são gerados produtos biologicamente estáveis e tanto massa como volume são reduzidos (Zhang *et al.*, 2016).

A estabilização aeróbia pode ocorrer na própria bacia de arejamento no caso de sistemas com arejamento prolongados ou idades de lamas muito elevadas. No entanto este tipo de estabilização é relativa (Lyonnaise des eaux, 1994).

No digestor aeróbio termófilo as reações exotérmicas de oxidação da matéria orgânica das lamas concentradas, por via aeróbia com injeção de ar comprimido conseguem uma elevação espontânea da temperatura até aproximadamente 55 °C (Lyonnaise des eaux, 1994). O tratamento de lamas por esta via permite obter rendimentos de eliminação da matéria orgânica volátil de 40 a 50 % em função do tempo de retenção no órgão (Lyonnaise des eaux, 1994; Tchobanoglous *et al.*, 2003; US EPA, 2003).

Comparativamente com a digestão anaeróbia o processo tem as seguintes vantagens (Tchobanoglous *et al.*, 2003):

1. A redução da matéria volátil é muito semelhante;
2. Tem menores concentrações de CBO no sobrenadante;
3. Gera um produto com baixo odor e biologicamente estável;
4. Recupera mais componentes importantes para a fertilização;
5. A operação do sistema é relativamente simples;
6. O capital de investimento é inferior;
7. É propício para digerir bio sólidos muito ricos em nutrientes.

Em termos de desvantagens comparativamente com a digestão anaeróbia indicam-se (Tchobanoglous *et al.*, 2003):

1. Elevados custos energéticos associados à injeção de ar (com consequente aumento da pegada de carbono);
2. Os bio sólidos apresentam más características de desidratação mecânica;
3. O processo é muito condicionado por vários fatores tais como, temperatura, regularidade da alimentação, geometria do órgão, tipo de mistura e de arejamento.

Estas lamas permanecem fermentáveis em condições de anaerobiose, pelo que não podem ser armazenadas durante períodos muito longos sem estabilização química (Lyonnaise des eaux, 1994).

Este processo permite, em algumas circunstâncias, obter um produto do tipo Classe B no que respeita à redução dos microrganismos patogénicos, devendo para esse efeito garantir-se um tempo de retenção de 40 dias a 20 °C ou de 60 dias a 15 °C (Tchobanoglous *et al.*, 2003; US EPA, 2003).

### Condicionamento

A redução do volume de lamas pode ser alcançado por meios de desidratação mecânica, no entanto as lamas de depuração apresentam uma matriz pouco propensa à desidratação (Bertanza *et al.*, 2014). Torna-se portanto necessário, proceder ao condicionamento químico das lamas para melhorar a eficiência do processo da desidratação (Bertanza *et al.*, 2014; Vega *et al.*, 2015). O processo tem como principal objetivo romper a estabilidade coloidal e libertar a água ligada aos colóides preparando-os para a fase seguinte da desidratação (Navarro, 2013).

O condicionamento pode ser realizado por meio de químicos inorgânicos, tais como o cloreto férrico e óxido de cálcio, ou por via dos polímeros orgânicos (polieletrólitos), tais como poliacrilamidas (Lyonnaise des eaux, 1994; Vega *et al.*, 2015). Os polieletrólitos atuam neutralizando cargas e formando estruturas de ligação, enquanto os condicionadores inorgânicos neutralizam as cargas e ajustam o pH dos sólidos das lamas (Mowla *et al.*, 2013; Vega *et al.*, 2015). O resultado de ambos é a formação de flocos com a estrutura de sólidos reforçada, facilitando a separação sólido / líquido (Mowla *et al.*, 2013).

Tipicamente a dose de cloreto férrico varia de 3% (lamas primárias) a 10 % (lamas biológicas) do peso em MS, as doses de óxido de cálcio podem ir de 18% (lamas primárias) a 30% (lamas biológicas). No caso da utilização de polímeros estes podem ir de 5 a 10 kg/t MS dependendo do tipo de polímero, características das lamas e equipamento utilizado na desidratação

(Lyonnais des eaux, 1994). A dose necessária e o tipo de reagente a utilizar, para qualquer tipo de lamas a desidratar, é determinada em laboratório (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Outros tipos de condicionamento utilizados são o tratamento térmico das lamas e congelamento e descongelamento (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Tratamento térmico – A lama líquida é aquecida no intervalo de temperatura de 60-180 ° C. Pré-tratamento térmico nesta gama pode destruir a parede celular e libertar as proteínas para degradação biológica. Neste processo, a afinidade da água com a lama sólida é diminuída. A viscosidade das lamas tratadas pelo calor diminui significativamente melhorando a capacidade de filtração da lama tratada. Esta técnica, embora eficiente, apresenta problemas de odores, corrosão elevada dos materiais e elevado CQO no líquido rejeitado (Mowla *et al.*, 2013).

Congelamento e descongelamento - Neste método, a lama é congelada a temperaturas inferiores ao ponto de congelação normal da água de, cerca de -15 °C e mantida a neste estado durante algum tempo e depois é descongelada à temperatura ambiente. Nesta técnica, a separação de água e sólidos de partículas ocorre durante a formação de cristais de gelo. O cristal de gelo cresce agregando as moléculas de água à estrutura. Impurezas, tais como partículas sólidas não são aceites na rede cristalina de gelo e são rejeitados para as fronteiras dos cristais onde são consolidadas. A descongelação deixa as partículas sólidas consolidadas e desidratadas. Esta técnica apresenta elevados custos energéticos (Mowla *et al.*, 2013).

## **Desidratação**

A desidratação é o processo físico utilizado para reduzir o conteúdo de água das lamas e bio sólidos, reduzindo o seu volume.

Existem vários motivos pelos quais se pretende desidratar a lama e os bio sólidos, nomeadamente (Tchobanoglous *et al.*, 2003):

1. Os custos de transporte das lamas e bio sólidos para deposição final são substancialmente mais baixos para menores volumes;
2. As lamas e bio sólidos desidratados são mais fáceis de manusear;
3. A desidratação é necessária para processos de tratamento posteriores, por exemplo:
  - a. no caso da inceneração para aumentar o valor calorífico;

- b. no caso da compostagem para cumprir com os requisitos de mistura com os outros compostos;
4. Para reduzir a formação de odores e a propensão para a putrefação;
5. Para reduzir a produção de lixiviados a quando da aplicação nos solos.

Esta operação pode realizar-se por métodos naturais de secagem de evaporação ou percolação (em lagoas ou leitos de secagem) ou por processos mecânicos (filtração com filtros de banda, filtro prensa, centrifugação).

Filtro prensa - Estes filtros consistem de uma série de placas com membranas filtrantes, alinhadas lado a lado e pressionadas por um sistema hidráulico. As lamas são introduzidas entre as membranas filtrantes adjacentes e o filtrado é recolhido nos canais das placas.

Um ciclo de filtração típico para a desidratação é o seguinte: (i) alimentação de lama; (ii) pressão do bolo formado após enchimento das membranas; (iii) introdução de ar através do bolo; (iv) lavagem das placas. A compressão ocorre até 16 bar, a fim de reter o menor teor de humidade no bolo (Wakeman, 2007). Os dados de operação dos filtros prensa são apresentados no Quadro 1.1.

*Quadro 1.1 - Dados de funcionamento dos filtros prensa para as lamas de ETAR Municipais. Adaptado de Wakeman, 2007.*

Tipo de lama	Concentração de sólidos na alimentação (%)	Concentração de sólidos no bolo (%)	Tempo de ciclo (h)
Lamas primárias + secundárias	3 - 8	45 - 50	2 - 2,5
Lamas primárias + secundárias + FeCl <sub>3</sub>	5 - 8	40 - 50	3 - 4
Lamas primárias + secundárias + FeCl <sub>3</sub> + digestão	6 - 8	40	3
Lamas terciárias + carbonato de cálcio	8	55	1,5

Filtro de bandas – A lama floculada é alimentada sobre uma tela inferior e o movimento da tela leva a lama para uma zona onde a lama é progressivamente apertada entre a tela inferior e uma outra tela superior numa sequência de rolos com pressão crescente. O líquido separa-se do “bolo” pelos poros da tela. As lamas desidratadas são recolhidas na parte final da sequência (Wakeman, 2007). Os dados referentes ao funcionamento do filtro de bandas são apresentados no Quadro 1.2.

Quadro 1.2 - Dados operacionais dos filtros de bandas. Adaptado de Wakeman, 2007.

Tipo de lama	Concentração de sólidos na alimentação (%)	Concentração de sólidos no bolo (%)	Dose de polieletrólito (kg/t MS)
Lamas primárias	3 - 10	25 - 44	0,6 - 4,5
Lamas secundárias	0,5 - 4	12 - 32	1,0 - 6,0
Lamas primárias + secundárias	3 - 6	20 - 35	0,6 - 5,0
Lamas c/ digestão aeróbia	1 - 8	12 - 30	0,8 - 5,0
Lamas c/ digestão anaeróbia	3 - 9	18 - 34	1,5 - 4,5
Lamas c/ condicionamento térmico	4 - 9	38 - 50	-

**Centrifugação** – A centrifugação é utilizada tanto para espessamento como para a desidratação das lamas. A centrifugação permite a separação sólido líquido por via da força centrífuga aplicada sobre as lamas.

Este tipo de equipamento tem-se tornado o equipamento mais escolhido para a desidratação mecânica das lamas e bio sólidos devido aos seguintes fatores (Wakeman, 2007):

1. As elevadas forças aplicadas sobre os sólidos permitem a obtenção de sólidos com baixo teor de humidade;
2. Elevada capacidade de desidratação de sólidos;
3. Permite a operação em contínuo com elevado débito de sólidos.

Exemplos do desempenho destes equipamentos para os diferentes tipos de lamas municipais são apresentados no Quadro 1.3.

Os equipamentos para desidratação de lamas têm evoluído para atender às características intrínsecas das lamas, das quais as mais importantes são a sua compressibilidade e o tamanho das partículas. A lama tende a estar ligada em rede nas suas partículas, ou seja, com partículas interagindo entre elas e oferecendo elevada resistência à compressão. Para a desidratação ocorrer é necessário que a compressão atue diretamente sobre a rede formada. Geralmente é necessário o condicionamento químico para quebrar essas redes e garantir os mais elevados índices de desidratação e a melhor clarificação do filtrado (Wakeman, 2007).

No caso particular das lamas das ETAR do Algarve as lamas secundárias são desidratadas até cerca de 14-20% MS e em alguns casos a concentração na alimentação ronda 1% MS.

Quadro 1.3 - Dados operacionais dos decantadores centrífugos para as lamas das ETAR Municipais. Adaptado de Wakeman, 2007.

Tipo de lama	Concentração de sólidos na alimentação (%)	Concentração de sólidos no bolo (%)	Dose de polieletrólito (kg/t MS)	Recuperação de sólidos (%)
Lamas primárias	5 - 8	25 - 36	0,5 - 2,5	70 - 95
Lamas secundárias	0,5 - 3	4 - 12	5,0 - 7,5	85 - 90
Lamas primárias + secundárias	4 - 5	18 - 25	1,5 - 3,5	90 - 95
Lamas c/ digestão	2 - 4; 4 - 7	15 - 18; 17- 21	3,5 - 5,0; 2,0 - 4,0	90 - 95
Lamas c/ condicionamento térmico	9 - 14; 13 - 15	35 - 40; 29 - 35	0; 0,5 - 2,0	75 - 85; 90 - 95

A tendência para o tratamento de lamas é para recorrer a tecnologias que sejam cada vez mais eficazes na estabilização das lamas e na remoção de microrganismos patogénicos, produzindo assim lama com melhores características para aplicação e consequentemente de aceitação pelos agricultores (Alvarenga *et al.*, 2015).

O circuito da gestão de lamas é complexo e envolve várias componentes técnicas operacionais, organizacionais e estratégicas. O mercado apresenta diversas soluções tecnológicas possíveis de implementação, que podem influenciar positivamente a gestão das lamas. Estas medidas são não só de índole operacional, como organizacional e estratégica. Atualmente existem fundos (PENSAAR; PO SEUR) para a comparticipação de investimentos em sistemas de tratamento de lamas, compete às empresas concorrer com as melhores soluções podendo, nesse aspeto, este estudo dar alguma contribuição.

O destino final das lamas pode ocorrer por diferentes formas, podendo passar pela incineração, deposição em aterro sanitário e valorização por compostagem ou valorização agrícola. Em todos estes métodos, a secagem adicional das lamas é muitas vezes uma necessidade por várias razões. De acordo com Chai (2007):

- A secagem reduz o teor de água e consequentemente a massa e volume de lama, reduzindo custos no transporte, operação e armazenamento;
- Em segundo lugar, a secagem a alta temperatura reduz os microrganismos patogénicos e estabiliza a lama no que respeita a fermentações indesejadas;



- Finalmente, a remoção da água aumenta o valor calorífico das lamas, e permite a sua utilização como fonte de combustível.

A secagem solar é uma opção vantajosa em alternativa aos secadores mecânicos térmicos (Mathioudakis *et al.*, 2013) porque utiliza energia renovável e é aplicável em muitas partes do mundo (Kurt *et al.*, 2015) sendo particularmente interessante para países com elevada exposição solar tal como Portugal e, em particular, na zona sul do país.

Compostagem é um processo que permite reduzir a massa de lamas de depuração em cerca de 40 % (Breitenbeck & Schellinger, 2004) e reduzir o teor de humidade para valores da ordem dos 50 %, além de assegurar a higienização completa do composto, ao juntar outras matérias, baixa o teor em metais pesados e preenche os requisitos para aplicação no solo (Kulikowska, 2016). A compostagem deve ser realizada com outras matérias (aparas de madeira são uma das mais utilizadas) numa mistura de 1:1 que forneçam o suporte estrutural para criar espaços vazios e permitir as trocas gasosas (Banegas *et al.*, 2007). O sucesso da compostagem está associado à qualidade do produto final, determinada pela sua estabilidade e maturidade (Zhao *et al.*, 2016). Estes fatores podem posteriormente alargar ou limitar as suas aplicações.

Tecnologias tais como a digestão anaeróbia termófila, apresentam novas potencialidades para as lamas associadas ao crescente interesse nas energias renováveis e também por permitirem a utilização das lamas com menos exclusões relativamente aos tratamentos convencionais (Lloret *et al.*, 2012).

Registe-se ainda a tendência na União Europeia principalmente no norte da Europa, para aumentar o papel de métodos térmicos com base na secagem e incineração (Pavlík *et al.*, 2015). A este propósito dá-se como exemplo a Alemanha onde a quota de incineração de lamas de depuração tem vindo a aumentar nos últimos anos (Pajak, 2013). De acordo com Béraud *et al.*, (2015) a estratégia alemã para o setor das lamas passa por recorrer a processos de incineração e co-incineração, inviabilizando, em muitas situações, a utilização agrícola nos próximos 10 anos.

## **1.7 DESTINO FINAL DAS LAMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS**

Os regulamentos levaram a importantes restrições na ETAR em termos de qualidade da água levando a um tratamento mais eficiente da água e um aumento na produção de lamas resultantes

do tratamento das águas residuais, sendo crescentes as restrições para deposição em aterro (Pradel *et al.*, 2016).

Como consequência é previsível aumentar a quantidade de lamas de depuração. Por exemplo, em 1992 a União Europeia produziu cerca de 5,5 milhões de toneladas de lamas (matéria seca), enquanto em 2010 este número aumentou para quase 10 milhões de toneladas (European Commission, 2010a). O tratamento, reutilização e eliminação destas lamas, representa um dos problemas mais complexos enfrentados pela engenharia no domínio do tratamento de águas residuais (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

A gestão destes bio sólidos e dos contaminantes acumulados e concentrados pelo tratamento das águas residuais, na fração sólida, representa uma das etapas mais complexas e mais dispendiosas do tratamento das águas residuais.

O tratamento da fração sólida nas ETAR baseia-se em processos de espessamento, estabilização, desidratação e secagem. Os objetivos pretendidos no tratamento de lamas são principalmente a redução do volume e limitação da fermentação, através da diminuição da matéria orgânica não estabilizada e dos microrganismos patogénicos presentes.

Não obstante, os sólidos resultantes da depuração das águas residuais podem ser utilizadas com benefícios ambientais após estabilização por processos tais como a digestão anaeróbia ou a compostagem (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Outras possibilidades para a gestão destas lamas e para a sua deposição final são a valorização energética e a deposição em aterro autorizado, sendo que, a deposição em aterro é vista pela Comunidade Europeia como a pior das soluções, na medida em que estamos a descurar a sua reciclagem (Navarro, 2013).

## **1.8 APLICAÇÃO DE LAMAS DE ÁGUAS RESIDUAIS NOS SOLOS**

Nutrientes, como azoto e fósforo são elementos fundamentais para plantas e animais e são, portanto, essenciais para garantir a cadeia de abastecimento alimentar. Os desafios globais que enfrentamos, como o crescimento da população e a evolução para uma dieta mais rica em proteínas, exige que a produção agrícola aumente continuamente pelo que urge reaproveitar e reciclar os nutrientes presentes em resíduos, como as lamas de depuração (Coppens *et al.*, 2015b).

A aplicação de resíduos orgânicos, agroindustriais, lamas urbanas, resíduos sólidos urbanos, lamas celulósicas ou os produtos resultantes da compostagem daqueles, pode ter efeitos significativamente positivos para a sociedade, já que os elementos nutritivos existentes naqueles compostos podem ser utilizados de uma forma sustentável na produção agrícola, resolvendo o problema do seu destino final, permitindo diminuir a quantidade de adubos aplicados na agricultura tal como refere Guerrero, (2003) no seu estudo.

As lamas são ricas em nutrientes, como azoto e fósforo e contém matéria orgânica útil, para corrigir os solos deficitários ou sujeitos a erosão. A matéria orgânica e os nutrientes são os elementos principais que potenciam este tipo de resíduos como fertilizante ou como um corretivo de solos orgânico (European Commission, 2015). A utilização de lamas urbanas e de resíduos orgânicos no solo melhora as suas propriedades físicas e químicas, aporta nutrientes para o solo, melhora a sua capacidade de retenção da água e a sua porosidade (*Labrecque et al.*, 1998).

Essa utilização não está isenta de certos riscos tais como a concentração de nutrientes em excesso que possam provocar desequilíbrios no ecossistema, acumulação de metais pesados, introdução de microrganismos patogénicos, ou a acumulação de macropoluentes orgânicos, também denominados poluentes emergentes, como fármacos e produtos de higiene pessoal cujos efeitos ainda são desconhecidos (Verlicchi *et al.*, 2012; Verlicchi & Zambello, 2015).

As lamas originadas a partir do processo de tratamento biológico de águas residuais tendem a concentrar alguns metais pesados (crómio, níquel, cobre, zinco, cádmio, mercúrio e chumbo), compostos orgânicos vestigiais pouco biodegradáveis (alquilo benzenossulfonatos lineares (LAS), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) e outros), bem como organismos potencialmente patogénicos (vírus, bactérias, etc.) presentes nas águas residuais (Peyton *et al.*, 2016).

#### 1.8.1 Matéria orgânica

A integridade do solo é continuamente ameaçada por processos destrutivos como o declínio da matéria orgânica, erosão, poluição e perda de biodiversidade (Fernández-Getino & Duarte, 2015).

As lamas de ETAR contêm geralmente elevados teores de matéria orgânica, sendo particularmente interessante a sua utilização em solos áridos. De uma forma geral encontra-se

associada à fertilidade dos solos por contribuir para melhorar a estrutura dos solos e disponibilizar um conjunto de nutrientes para as plantas de onde se destacam os seguintes aspetos positivos (Agro.Ges & Águas do Algarve S.A., 2005b; Grupo de Trabalho Técnico para as Boas Práticas Agrícolas, *et al.* 1999; Navarro, 2013):

- Melhora a estrutura do solo contribuindo para uma melhor circulação do ar e água, facilitando a penetração das raízes e diminuindo o risco de erosão;
- Aumenta a capacidade de retenção de água;
- Disponibiliza nutrientes;
- Aumenta a capacidade de fixação de elementos tóxicos para as plantas;
- Suporta a atividade biológica do solo;
- Fixa dióxido de carbono e reduz a sua concentração na atmosfera
- Melhora a capacidade de troca catiónica do solo.

A aplicação de fontes de matéria orgânica por via do estrume, resíduos sólidos urbanos e lamas de ETAR, são formas conhecidas de melhorar a sua fertilidade dos solos, sendo a sua incorporação nestes uma prática frequente.

Por outro lado, a incorporação de matéria orgânica no solo é essencial no processo de sequestro e armazenamento de carbono (Fernández-Getino & Duarte, 2015; Geissen *et al.*, 2013).

### 1.8.2 Nutrientes

O desenvolvimento das plantas é condicionado pela disponibilidade dos elementos no solo, dentro destes elementos podem ser classificados como macronutrientes principais o azoto, fósforo e potássio. Nos macronutrientes secundários encontram-se o cálcio, magnésio, sódio e o enxofre. Como micronutrientes classificam-se o boro, cobre, ferro, manganês, molibdénio e zinco (Agro.Ges & Águas do Algarve S.A., 2005b).

Nesta perspetiva, as lamas das ETAR, que contêm quantidades elevadas de matéria orgânica e de nutrientes, normalmente muito baixas nos solos das zonas sob influência do Mediterrâneo (Agro.Ges & Águas do Algarve S.A., 2005b; Alvarenga *et al.*, 2015), podem fazer parte de uma estratégia de fertilização e da política de "fim-de-resíduos" na Europa (Alvarenga *et al.*, 2015; Saveyn & Eder, 2014).

### 1.8.3 Azoto

O azoto é o nutriente nobre por excelência para as plantas (Dias *et al.*, 2004; Soveral Dias, 2004) e portanto essencial para assegurar o ciclo da cadeia de fornecimento alimentar (Coppens *et al.*, 2015a).

A aplicação de azoto nos solos e às culturas pode ser feita recorrendo a uma vasta gama de materiais, sejam eles minerais ou orgânicos, encontrando-se o azoto sob diferentes formas químicas, correspondendo a diversos comportamentos no solo (Guerrero, 2003).

O fluxo de azoto, introduzido artificialmente pelos fertilizantes nos solos agrícolas, tem vindo a aumentar significativamente nas bacias hidrográficas, potenciando a eutrofização nos estuários com todos os problemas subjacentes, tais como de *blooms* de algas eventualmente tóxicas, causando ameaça à biodiversidade e à sustentabilidade (Vitousek *et al.*, 1997).

A legislação estabelece um limite de 170 kg N/ha/ano para zonas sensíveis (*Decreto-Lei n.º 235/97*, 1997) mas para outros locais esse limite está dependente das necessidades das culturas.

A utilização de lamas de depuração para fertilização dos solos permite, por um lado diminuir a aplicação de adubos azotados na agricultura e, por outro, reduzir o fluxo de compostos azotados que chegam às bacias hidrográficas e, ou libertados para a atmosfera (Li *et al.*, 2012).

O conjunto de transformações a que os compostos azotados estão sujeitos no solo conduz à formação de nitratos, sem capacidade para serem retidos no complexo de adsorção do solo e, por isso, facilmente arrastados nas águas de escoamento superficial e nas águas de percolação, perdendo-se, assim, para a produção agrícola e contribuindo para a poluição das águas superficiais e das águas subterrâneas (Dias *et al.*, 2004).

O azoto nas lamas de depuração é bastante elevado, encontrando-se, a sua maior parte, na forma orgânica, o que faz com que nem todo o azoto possa ser assimilado de imediato pelas plantas (Navarro, 2013; Ogbazghi *et al.*, 2016). As plantas utilizam o azoto na sua forma amoniacal e ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). A disponibilidade do azoto para a planta depende a taxa de mineralização da lama e das subseqüentes perdas através da volatilização, desnitrificação e lixiviação (Hernández, 2002).

A mineralização do azoto orgânico das lamas é um processo biológico complexo, preconizado por microrganismos heterotróficos e afetado por vários fatores como; tipo de solo, pH do solo,

temperatura, humidade e altamente dependente do processo de estabilização a que as lamas foram sujeitas previamente (Gutiñas *et al.*, 2012; Hernández, 2002).

De acordo com o estudo de Hernández (2002) a mineralização do azoto é maior nas lamas com tratamento aeróbio e nos solos com textura mais leve. Por outro lado, a aplicação das lamas deve ser controlada, na medida em que maiores quantidades de lamas aplicadas não resultam em maiores quantidades de azoto inorgânico disponíveis no solo, mas sim em maiores perdas.

#### 1.8.4 Fósforo

O fósforo (P) é essencial para todas as formas de vida conhecidas porque é um elemento-chave em muitos processos fisiológicos e bioquímicos é indispensável e não pode ser substituído por qualquer outro elemento. Nas plantas é essencial para a fotossíntese (European Fertilizer Manufacturers Association, 2000; Scholz *et al.*, 2013).

Os principais elementos essenciais aos processos biogeoquímicos dos seres vivos tais como P, N e K podem ser concentrados por processos naturais, ou processos técnicos, mas enquanto o N e o K estão na atmosfera, o fósforo é dissipado por via da erosão do solo e do escoamento de águas e efluentes (Scholz & Wellmer, 2013).

A agricultura atualmente é totalmente dependente dos fertilizantes para aumentar o rendimento das culturas. De acordo com Cordell, Drangert e White (2009) e a European Fertilizer Manufacturers Association (2000) as atuais reservas globais de fósforo podem ser esgotadas em 50-100 anos, com as potenciais reservas restantes a apresentarem uma menor qualidade e maiores custos de extração.

No que respeita ao ciclo urbano da água, devido às infraestruturas de saneamento, o ciclo do fósforo que anteriormente era devolvido às terras, foi quebrado, atualmente o fósforo é conduzido por via dos efluentes para as grandes massas de água (Science Communication Unit & University of the West of England, 2013)

Como elemento fósforo não ocorre por si só na natureza, aparecendo sempre combinado com outros elementos formando fosfatos, que podem ser mais ou menos complexos (European Fertilizer Manufacturers Association, 2000; Scholz *et al.*, 2013; Scholz & Wellmer, 2013).

As maiores fontes de fósforo, como fertilizante, são a rocha fosfato, as quais são exploradas em grandes quantidades, superiores à capacidade de reposição pelo ciclo geológico (Science Communication Unit & University of the West of England, 2013). O fósforo foi listado pela

união europeia em Maio de 2014 como um elemento crítico (European Commission, 2014), podendo a sua recuperação através das lamas de depuração e outras fontes renováveis, alternativas a considerar.

A recuperação de fósforo a partir de águas residuais pode ser obtida por três vias (Hukari *et al.*, 2015):

- 1) Recuperação por via da sua separação das lamas ou das águas residuais, por meios técnicos;
- 2) Recuperação através das cinzas das lamas de depuração, após inceneração;
- 3) Recuperação convencional através da aplicação de lamas de forma adequada na agricultura.

Nos processos de remoção biológica de nutrientes, o fósforo, fica aprisionado na estrutura e nos polímeros da lama de depuração, variando entre 4% e 9% (expresso em  $P_2O_5$ ), a recuperação e reciclagem do fósforo a partir das lamas, pode ser um passo importante na direção da sustentabilidade. (Barlindhaug & Ødegaard, 1996; Wang *et al.*, 2016).

#### 1.8.5 Potássio

O potássio cujo conteúdo nas lamas de depuração é relativamente baixo quando comparado com os outros macroelementos, variando entre 0,3 a 0,5% (em  $K_2O$ ) (Lyonnaise des eaux, 1994).

#### 1.8.6 Fertilização

Os teores em N-P-K na perspetiva da fertilização agrícola não são equilibrados, verificando-se um *deficit* em potássio, que terá de ser corrigido para refletir a disponibilidade de elementos (Jemali *et al.*, 1998; Lyonnaise des eaux, 1994). Podendo existir, para algumas aplicações, a necessidade de aumentar também o fósforo (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Além do seu carácter fertilizante, as lamas têm uma mineralização biológica do material orgânico, libertando substâncias húmicas estáveis e garantindo assim uma boa estrutura do solo (Jemali *et al.*, 1998; Lyonnaise des eaux, 1994).

As lamas apresentam uma taxa significativa de mineralização da matéria orgânica, embora a elevada taxa de mineralização do carbono represente uma baixa compensação orgânica. No

máximo, a contribuição de lamas permite compensar parcialmente as perdas anuais de húmus do solo (Lyonnaise des eaux, 1994).

#### 1.8.7 Riscos Potenciais

Segundo diversos autores (Alvarenga *et al.*, 2015; Lyonnaise des eaux, 1994; Navarro, 2013; Tchobanoglous *et al.*, 2003) as lamas apresentam características que podem atuar como fatores limitantes à sua aplicação nos solos, onde se incluem a salinidade, o excesso de nutrientes, presença de microrganismos patogénicos, substâncias orgânicas tóxicas, metais pesados e, ou, fatores intrínsecos das características dos solos.

As lamas de depuração, ricas em matéria orgânica, poderão ser utilizadas como fertilizantes, no entanto a sua utilização na fertilização do solo, está condicionada às características destes e ao conteúdo das lamas, nomeadamente aos suscetíveis de causar a poluição do solo e, em certas condições, das águas (Dias *et al.*, 2004).

O uso agrícola destas lamas tem alguns riscos potenciais, associados à sua composição, metais pesados, compostos tóxicos, bactérias patogénicas, vírus e parasitas (Lloret *et al.*, 2012). Alguns estudos têm sido realizados para tentar determinar a avaliação do risco ambiental da introdução de compostos provenientes de farmacêuticos e produtos de higiene pessoal no solo por esta via (Verlicchi & Zambello, 2015).

No entanto, os poucos conhecimentos e dados existentes sobre a introdução de micropoluentes nos solos por esta via, pode levar os regulamentos europeus e nacionais a restringir progressivamente a aplicação de lamas na agricultura (Mailler *et al.*, 2014).

Em Portugal o *Decreto-Lei 276/2009* regulamenta a aplicação de lamas nos solos, estabelecendo limites para os metais pesados, contaminantes orgânicos e microrganismos patogénicos.

##### **1.8.7.1 Metais pesados**

A aplicação de lamas de depuração contaminadas com metais pesados pode aumentar significativamente as concentrações de metais potencialmente tóxicos em solos e levar à sua transferência para a água e plantas (Méndez *et al.*, 2012)

Os metais pesados são conhecidos por apresentarem características tóxicas e por se poderem acumular em plantas e animais (Qi *et al.*, 2011). Para prevenir eventuais problemas de



toxicidade, são muitas vezes regulamentados ou dadas orientações específicas para os possíveis metais pesados mais comuns tais como, o arsénio, o cádmio, o crómio, o cobre, o chumbo, o mercúrio, o níquel e o zinco que podem estar presentes nas lamas de depuração (*Decreto-Lei 276/2009*, 2009; NZWWA, 2003).

A aplicação repetitiva de lamas de depuração no solo pode causar a sua acumulação, pelo que, os cuidados para esta prática devem considerar tanto a acumulação a longo prazo do teor de metais pesados, bem como a sua lixiviação na água (Fang *et al.*, 2017)

#### **1.8.7.2 Substâncias orgânicas**

A principal carga orgânica das lamas é proveniente da matéria fecal humana e é uma mistura complexa de gorduras, proteínas, hidratos de carbono, aminoácidos, açúcares, celuloses, material húmico e ácidos gordos (European Commission, 2001).

A taxa de entrada total de poluentes orgânicos nos solos não deve exceder a taxa de degradação. Uma vez adicionados ao solo, os poluentes orgânicos estão sujeitos a uma variedade de processos, adsorção, degradação (biótica e abiótica), volatilização, erosão, escoamento e lixiviação, que podem atuar para reduzir a concentração de poluentes orgânicos persistentes potencialmente disponíveis para a absorção pelas plantas (O'Connor, 1996).

A Comissão Europeia (European Commission, 2001) indica estudos em que foram recolhidos dados de resíduos sobre o nível de poluentes orgânicos presentes nas lamas de depuração da Alemanha. Nesses estudos foram encontrados 332 compostos orgânicos com efeitos tóxicos conhecidos ou suspeitos, 42 deles estão presentes de forma regular e a maioria na faixa de g/kg a mg/kg de matéria seca.

#### **1.8.7.3 Microrganismos patogénicos**

As águas residuais e, por conseguinte, as lamas de depuração delas resultantes contêm uma grande variedade de agentes patogénicos, infecciosos para diferentes espécies de animais e plantas, bem como para os seres humanos, que podem sobreviver durante longos períodos de tempo nas lamas e no ambiente (European Commission, 2001).

A utilização de microrganismos que possam servir como indicadores dos riscos de contaminação de solo e água por patogénicos, relacionados com a aplicação de lamas nos solos é fundamental para uma correta gestão do circuito e proteção da saúde pública (Alvarenga *et al.*, 2015; Sidhu & Toze, 2009).

O risco para a saúde por via do contacto com os microrganismos patogénicos pode ser gerido através do tratamento adequado das lamas e práticas de manuseamento apropriadas (Lyonnaise des eaux, 1994; Sidhu & Toze, 2009; Tchobanoglous *et al.*, 2003).

De acordo com o *Decreto-Lei 276/2009* os microrganismos presentes na lama, para aplicação em solos, deve ser inferior a 1.000 células/g de matéria fresca para a *Escherichia coli* e deve estar ausente em 50 g de material original para a *Salmonella* spp..

#### **1.8.7.4 Salinidade**

A salinização é a acumulação de sais solúveis em água no solo, a um nível que afeta a produção agrícola, a saúde ambiental e o bem-estar económico (Rengasamy, 2006).

É um fator a ter em conta, uma vez que a quantidade de aniões ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , etc.) e catiões ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , etc.) solúveis no solo será muito importante, especialmente naqueles com capacidade limitada de escoamento (Navarro, 2013). O excesso de sais pode causar uma diminuição na capacidade de germinação das sementes e de crescimento das plantas, enquanto a estrutura do solo pode ser seriamente prejudicada (Navarro, 2013).

Os altos níveis de salinização podem assim resultar na perda dos recursos emergentes, bens e serviços do solo, impactando a produção agrícola e o ambiente (Rengasamy, 2006). Como tal, a salinização pode tornar-se parte do paradigma da desertificação, aumentando a taxa de degradação do solo, mas também o conflito social sobre os escassos recursos naturais de algumas terras semiáridas (Daliakopoulos *et al.*, 2016).

#### **1.8.8 Características dos Solos**

O solo é o principal recurso em que as culturas se apoiam para crescer se desenvolvem e onde vão buscar a água e os nutrientes de que necessitam. A capacidade para fornecer nutrientes minerais às plantas varia com o tipo de solo e com o seu nível de fertilidade (Soveral Dias, 2004).

Para uma produção plena das culturas, para além de outras condições ambientais favoráveis, é necessário que a cultura disponha, durante todo o período de crescimento, os diversos nutrientes minerais (azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, manganês, cobre, zinco, níquel, boro, molibdénio e cloro) nas quantidades e proporções mais adequadas a cada fase do seu crescimento, sendo estas variáveis para cada tipo de cultura (Dias *et al.*, 2004).

### 1.8.8.1 Solos de Portugal

Os solos mediterrânicos caracterizados por apresentarem elevada degradação em consequência das condições climáticas características da região e de alguma agricultura intensiva poderiam beneficiar da aplicação de lamas de depuração (Larchevêque *et al.*, 2006; Fernández-Getino & Duarte, 2015). Além de algumas vantagens económicas, quer para o setor das águas, quer para o sector agrícola, existem alguns estudos no sentido de utilizar este tipo de recurso para fins de reabilitação do solo, como uma fonte de matéria orgânica e, como um ativador da atividade microbiana quando usado como correção e melhoramento do solo (Tarrasón *et al.*, 2010).

Em Portugal o clima quente e seco favorece uma rápida mineralização da matéria orgânica, as práticas culturais e os tipos de solos, levam à existência de escassos valores de matéria orgânica na maioria das terras cultivadas. Esta escassez constitui uma importante limitação ao bom desenvolvimento das culturas e consequentemente à obtenção de maiores produções. A situação é particularmente notória no Centro e Sul do país (Agro.Ges & Águas do Algarve S.A., 2005b).

Não obstante as reconhecidas vantagens na utilização de lamas na agricultura, é necessário ter presente e estudar o risco das eventuais consequências da utilização de lamas de depuração, compostagem e outros resíduos orgânicos, que possam produzir alterações do solo agrícola (Alvarenga *et al.*, 2015).

A Direção-Geral da Agricultura e Desenvolvimento Rural alerta para vários problemas ao nível da qualidade dos solos em Portugal os quais, em geral, são escassos e estão seriamente ameaçados, principalmente pela Selagem/Impermeabilização, Erosão e Perda de Matéria Orgânica (DGADR, 2009). A maioria dos solos em Portugal Continental, com exceção das áreas de maior pluviosidade, apresenta baixos níveis de matéria orgânica. Nas restantes regiões, as condições climáticas (pouca humidade e temperaturas elevadas) favorecem a perda de matéria orgânica através da sua decomposição (Grupo de Trabalho Técnico para as Boas Práticas Agrícolas *et al.*, 1999).

De um modo geral a matéria orgânica tem decrescido, ao longo dos anos, aumentando a suscetibilidade dos solos a outros processos de degradação e à consequente desertificação. As atividades antropogénicas têm aumentado significativamente a taxa de erosão e consequentemente têm vindo a reduzir a produtividade do solo (Fernández-Getino & Duarte, 2015; Geissen *et al.*, 2013)

No combate à perda da matéria orgânica e à desertificação dos solos, incluem-se o coberto vegetal permanente, a utilização da sementeira direta ou da mobilização mínima a fertilização orgânica, a manutenção e aplicação de resíduos vegetais no terreno, a gestão integrada de nutrientes a conservação de água no solo, a concessão de apoios condicionada a boas práticas (DGADR, 2009).

A inclusão de corretivos orgânicos nos solos abrangem os resíduos das explorações agrícolas, compostos de resíduos sólidos urbanos e lamas provenientes do tratamento de efluentes (Grupo de Trabalho Técnico para as Boas Práticas Agrícolas *et al.*, 1999).

#### **1.8.8.2 Solos do Algarve**

Em termos genéricos, no Algarve, os solos são derivados de xisto, calcário, arenito e sienito. O material originário dos diversos tipos de solos varia entre as formações carbónicas muito antigas, sedimentos recentes de zonas baixas, sedimentos marinhos, fluviais ou lagunares e rochas magmáticas (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas I.P., 2006).

De acordo com a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve desertificação está presente no Algarve, particularmente no interior algarvio, e deve-se a fatores de diversa natureza, incluindo o mau uso do solo e a incêndios devastadores, entre outros (Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, 2007a).

Os sinais da desertificação incidem, essencialmente, sobre a redução da produtividade do solo o aumento da salinização dos solos, o aumento do escoamento superficial e da erosão hídrica acelerada do solo, traduzindo-se numa redução da biodiversidade e a da produtividade agrícola, levando ao empobrecimento destes ecossistemas (Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, 2007a).

Entre as causas mais determinantes para a situação de desertificação, é referida a fragilidade dos solos, o relevo acidentado, as condições climáticas sub-húmidas secas e semiáridas, as grandes perdas no coberto florestal, a exploração não sustentável dos recursos hídricos, o desaparecimento de métodos de agricultura tradicionais e a concentração das atividades económicas no litoral (Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, 2007a).

O combate à desertificação carece da implementação de decisões estratégicas fundamentais no que respeita à gestão da água, à recuperação de solos e à conservação da floresta (Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, 2007a).

O interesse na aplicação de lamas de ETAR na recuperação dos solos do Algarve e combate à desertificação, prende-se com a sua composição química e física podendo constituir um meio aliciente de fertilização.

## **1.9 UTILIZAÇÃO DE LAMAS NA COMPOSTAGEM**

A compostagem é um dos vários métodos para o tratamento dos bio sólidos criando um produto final de elevado valor comercializável fácil de manusear, armazenar e utilizar (Cabrera *et al.*, 1997). O produto final é geralmente um Classe A, sem níveis detetáveis de microrganismos patogénicos que pode ser aplicado como um fertilizante do solo em jardins, culturas alimentares e alimentos para animais e pastagens (US EPA, 2002).

O composto fornece grandes quantidades de matéria orgânica e nutrientes (como azoto e potássio) ao solo, melhora a sua textura e eleva a capacidade de troca catiónica do solo (uma indicação da capacidade do solo de reter nutrientes), apresentando todas as características de um bom fertilizante orgânico (US EPA, 2002).

Neste método de valorização de resíduos sólidos, a componente orgânica é decomposta biologicamente em condições aeróbias controladas (Golueke, 1991).

O composto fornece grandes quantidades de matéria orgânica e nutrientes (como azoto e potássio), melhora a textura e eleva a capacidade de troca de cationes do solo (uma indicação da capacidade do solo para reter nutrientes) (Keeling *et al.*, 1995; US EPA, 2002).

Existem três métodos de compostagem para as lamas de depuração. Cada método envolve a mistura das lamas com um agente que acrescenta volume, fornecer carbono e aumentar a porosidade. A mistura resultante é empilhada, ou colocada num órgão, onde a atividade microbiana faz com que a temperatura da mistura aumente durante o período de "compostagem ativa". As temperaturas específicas que devem ser alcançadas e mantidas, para a compostagem ser bem-sucedida, variam de acordo com o método e com a qualidade pretendida para o produto final (Carrington, 2001; US EPA, 2002).

Os três métodos são, resumidamente, os seguintes (US EPA, 2002):

- **Pilha estática arejada** – As lamas desidratadas são misturadas com o agente de volume e empilhada sobre um leito de tubos através do qual ocorre o arejamento do material de compostagem.
- **Pilha estática (Windrow)** - As lamas desidratadas são misturadas com o agente de volume e empilhados em longas filas. Porque não há tubulação para fornecer ar às pilhas, o “bolo” tem de ser mecanicamente remexido para promover a incorporação de oxigénio. Esta mistura é também essencial para mover as superfícies externas do material para o interior, de forma a serem submetidas às temperaturas mais elevadas.
- **Em órgão (In-Vessel)** - As lamas desidratadas são misturadas com o agente de volume é introduzidas num silo, túnel, canal ou órgão. São utilizados transportadores e outros dispositivos para arejar, misturar e mover o produto através do órgão para o ponto de descarga. O ar é geralmente insuflado para dentro da mistura. Após a compostagem ativa, o produto acabado é normalmente armazenado numa pilha para uma estabilização adicional.

A mistura pode ser efetuada com aparas de madeira ou serradura, mas muitos outros materiais podem ser utilizados (US EPA, 2002).

A compostagem reduz os microrganismos patogénicos tais como bactérias e vírus a níveis não detetáveis, se a temperatura do composto for mantida superior a 55 ° C durante 15 dias ou mais (US EPA, 2002, 2003).

De acordo com Guerrini *et al.*, (2017), US EPA (2002) e outros autores, o composto de lamas de depuração pode ser utilizado para fins produtivos, melhorando a qualidade do solo, quando aplicado como fertilizante e resolvendo a questão da deposição final e dos problemas ambientais associados.

## 1.10 SECAGEM SOLAR

O processo de secagem das lamas é fundamental na gestão das lamas de depuração, atendendo a que ao reduzir o volume do produto final, reduzem-se os custos de armazenamento, manuseamento e transporte. Este processo, em termos de investimento económico, é particularmente adaptado a regiões secas e quentes (Öglení & Özdemir, 2010).

Além destas virtudes, verifica-se que a utilização de secagem solar, permite a redução dos agentes patogênicos das lamas de depuração, permitindo aumentar o potencial de valorização do produto (Öglení & Özdemir, 2010). Por outra via, a perda de humidade das lamas aumenta o seu poder calorífico, aumentando o seu valor como fonte de combustível (Chai, 2007).

De uma forma geral, o processo de secagem solar assenta na aceleração da taxa de evaporação de água pela transferência de calor e massa, aplicadas ao produto e ao ar, explorando o efeito de estufa artificial e evitando o equilíbrio da pressão de vapor de água entre as lamas e o ar, através da ventilação controlada do ar interior (Bennamoun, 2012; Mathioudakis *et al.*, 2013).

A utilização da energia solar apresenta, no estudo realizado por Bennamoun (2012), que pode ser um processo com benefícios económicos, rentabilizando o investimento do ponto de vista do consumo energético e do custo do próprio sistema de secagem.

Por outro lado, as estufas para secagem de lamas, são instalações caracterizadas por apresentarem uma pagada de carbono bastante reduzida, quando comparadas com outros processos de secagem de lamas (Mathioudakis *et al.*, 2013).

Tendo em consideração as condições climáticas em Portugal, caracterizado por uma elevada radiação solar anual, é espectável o sucesso deste método, em particular no Algarve.

### **1.11 UTILIZAÇÃO DE LAMAS NA INDÚSTRIA**

Alguns estudos (Pavlík *et al.*, 2015) sugerem a possibilidade da utilização de lamas de ETAR incorporadas em cimentos após um tratamento térmico a 700° C, esta utilização assenta no aproveitamento das quantidades de sílica, óxido de cálcio e óxido de ferro existentes.

Outras utilizações passam pela sua utilização como fonte de combustível e aproveitamento da fonte de calor para processos térmicos ou produção de energia (P. Chen *et al.*, 2016; Murakami *et al.*, 2009; Syed-Hassan, Wang, Hu, Su, & Xiang, 2017), os fornos de cimenteiras são um exemplo dessa possível utilização.

### **1.12 INCINERAÇÃO DE LAMAS**

A incineração das lamas é uma outra opção para a deposição final das lamas, contudo este processo é bastante dispendioso e leva à perda de matéria orgânica e nutrientes (Foladori *et al.*,

2010; von Sperling *et al.*, 2007). A incineração opera a temperaturas extremamente altas (> 850 ° C), produzindo emissões gasosas nocivas (contendo, entre outras, dioxinas e furanos) e cinzas (contendo metais pesados), cujo tratamento pode ser muito caro (Garrido-Baserba *et al.*, 2014; Kelessidis & Stasinakis, 2012).

Não obstante, em muitos países do norte da europa, a incineração é uma das primeiras opções no destino final das lamas (Béraud *et al.*, 2015; Foladori *et al.*, 2010; Pavlík *et al.*, 2015). Nesta utilização, as lamas possibilitam a recuperação da energia contida na matéria, por meio da sua conversão em calor e energia elétrica (Garrido-Baserba *et al.*, 2014).

Nestes casos, uma potencial solução para as cinzas das lamas de depuração, passa pela sua inclusão na matriz de materiais de construção, nomeadamente no cimento, onde podem ser estabilizadas e solidificadas (Pavlík *et al.*, 2015).

Este processo pode ser uma solução viável em casos específicos de grandes áreas urbanas, onde as distâncias para locais de deposição das lamas tornam o seu transporte muito dispendioso, ou onde existam muitas restrições a outro tipo de aplicação (Garrido-Baserba *et al.*, 2014; von Sperling *et al.*, 2007).

O processo permite a maior redução de volume, com as cinzas representarem menos de 4% das lamas desidratadas colocadas para incineração (von Sperling *et al.*, 2007).

De acordo com Kelessidis & Stasinakis (2012), é provável que os membros mais antigos da união europeia continuem a desenvolver a tecnologia da incineração e co-incineração e, nos próximos anos, o processo de tratamento térmico com recuperação de energia aumente o seu peso na Europa. Em contra ponto, será nos casos onde se pretenda efetuar a recuperação do fósforo, que este processo não será o eleito.

A adoção de tecnologias de incineração também resultará na necessidade de adoção de tecnologias que permitam melhorar a desidratação das lamas, de forma a aumentar o seu valor energético (Kelessidis & Stasinakis, 2012). De acordo com von Sperling *et al.* (2007) a incineração de lamas com maior percentagem de sólidos é muito vantajoso para o próprio processo.

A secagem solar pode ser uma etapa prévia, complementar e económica, especialmente em áreas com condições climáticas adequadas.



## 2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

O trabalho teve uma componente de pesquisa, recolha e apuramento de informação através da consulta de vários documentos e estudos realizados anteriormente, disponíveis nas plataformas de acesso a documentos científicos tais como a B-On e a Science direct, ou por consulta de documentos impressos tais como livros da especialidade e artigos de revistas científicas.

Efetuuou-se o levantamento e caracterização das instalações produtoras de lamas e significativas para o presente estudo, esta caracterização integra a sua localização geográfica, dimensão e população servida, caudais afluentes (quantidade e qualidade) linha de processo das fases líquida e sólida. Esta tipificação apresenta relevância para o produto final obtido em termos das suas características físicas químicas e microbiológicas, podendo, à partida, estabelecer algumas condicionantes de base.

Os dados trabalhados foram suportadas no universo de instalações da AdA e nos resultados quantitativos, qualitativos, tipificação das instalações nos aspetos técnicos de tratamento e armazenamento das lamas, bem como a capacidade de armazenamento e tecnologias de desidratação, que foram disponibilizados por essa empresa. O período de referência a que correspondem os dados recolhidos foi de 3 anos, entre 2013 e 2015.

O número de instalações que compõem o âmbito do estudo é de 11, número inferior ao total global existente de 66. Esta seleção prende-se com a tipologia das ETAR e dos seus sistemas de tratamento de lamas, tendo sido selecionadas as instalações com maior produção intensiva. Agrupando a produção acumulada de lamas, foi possível listar as ETAR que concorrem com a maior produção e restringir o âmbito do estudo às instalações que contribuem com 90% da produção total de lamas.

Os elementos quantitativos e qualitativos das lamas foram analisados com base em folhas de cálculo do *Microsoft® Office Excel®*.

Após uma análise às instalações produtoras, assente nos dados facultados pela AdA para o período de referência foram analisados os dados de base das lamas geradas por instalação, caracterização físico-química, microbiológica e quantitativos.

A caracterização dos solos teve uma abordagem semelhante à realizada para as lamas, levando em conta a disponibilidade dos mesmos e as suas características e necessidades agronómicas. Permitindo posteriormente a confrontação com as características das lamas, de forma a obter

conclusões no que respeita a compatibilidade e vantagens agronómicas, na utilização das lamas de depuração nos solos disponíveis na região.

Para efeitos de avaliação do potencial de utilização de lamas de ETAR nos solos agrícolas do Algarve, foi necessário ter em consideração a agricultura praticada na região, as suas necessidades e a tipologia dos solos (Agro.Ges & Águas do Algarve S.A., 2005a).

A ocupação do solo será considerada não só a legislação subjacente e a conjugação lamas / solo, mas também eventuais incómodos causados às populações por via da proximidade aos centros urbanos.

Tendo por base a bibliografia e casos de sucesso reconhecidos, foram estudadas as soluções tecnológicas capazes de melhorar as características finais das lamas, eventualmente transformando o “resíduo” em “produto”, com vantagens ambientais e económicas na escolha da solução do destino final.

Nesse sentido foram tidos em consideração aspetos tais como, disponibilidade, custo da solução, vantagens e desvantagens da adoção de um tratamento adicional e qual o mais adequado, colocando-os em perspetiva com a situação atual.

### **3 ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO**

O principal objetivo da diretiva europeia para o Tratamento de Águas Residuais Urbanas (UWWT) (Conselho das comunidades europeias, 1991) é proteger as águas de superfície contra os efeitos nocivos das descargas de águas residuais. Isto é conseguido através da exigência de recolha e tratamento de águas residuais em todas as povoações e áreas de atividade económica com um equivalente de população (ep) superior a 2.000 hab.. Como regra, a diretiva UWWT prevê um tratamento de nível secundário para as águas residuais, que de outra forma iriam reduzir os níveis de oxigênio em águas recetoras, ameaçando os ecossistemas aquáticos. Em bacias com águas particularmente sensíveis, com propensão para a eutrofização, são necessárias medidas de tratamento de águas residuais mais rigorosas, adotando-se níveis de tratamento terciários, a fim de reduzir substancialmente a poluição por nutrientes (azoto e fósforo) das águas residuais (European Environment Agency (EEA), 2013).

A AdA tem algumas instalações nesta situação, nomeadamente a ETAR da Quinta do Lago, ETAR de Faro Nascente e ETAR de Olhão Poente que descarregam para a ria Formosa.

A legislação europeia e nacional aplicável à gestão das lamas das ETAR define claramente as competências e responsabilidades das entidades licenciadoras, fiscalizadoras, produtoras e dos operadores na gestão de lamas de ETAR.

A nível Europeu, e tendo por base o princípio da precaução, será de esperar que alguns Estados Membros pretendam uma revisão da Diretiva Comunitária de valorização agrícola para definir parâmetros com valores mais restritivos que os atuais, designadamente de metais pesados e compostos orgânicos. Comparativamente com os restantes países da união europeia, a legislação nacional é uma das mais restritivas em matéria de valorização agrícola, nomeadamente estabelecendo os critérios microbiológicos mais restritivos.

No que respeita à Legislação Comunitária os principais diplomas legais comunitários relacionados com as lamas de depuração de ETAR abordam o seu enquadramento como resíduo e o contexto das suas possíveis utilizações.

A diretiva quadro de resíduos Diretiva 2006/12/EC com revisão na Diretiva 2008/98/EC, de 19 de Novembro de 2008 do Parlamento Europeu e do Conselho definem o quadro jurídico para o tratamento de resíduos, com vista a proteger de potenciais impactes adversos no ambiente e na saúde pública. A diretiva responsabiliza os produtores pela gestão dos resíduos e estabelece

a ordem de prioridades a que deve ser atendida nesse fluxo, nomeadamente: prevenção, preparação para reutilização, reciclagem, valorização energética e por último a eliminação (Parlamento Europeu, 2006; Parlamento Europeu, 2008).

Importa ainda salientar que cada estado membro deverá fazer a gestão dos seus resíduos dentro do seu território atendendo ao princípio da autossuficiência.

A uniformização da classificação Europeia para os resíduos foi alcançada com a introdução da Lista Europeia dos Resíduos (LER), assente na Decisão n.º 2000/532/CE, da Comissão, de 3 de Maio, alterada pelas Decisões n.º 2001/112/CE, da Comissão, de 16 de Janeiro, 2001/119/CE, da Comissão, de 22 de Janeiro e 2001/573/CE, do Conselho de 23 de Julho (Conselho da União Europeia, 2001; Comissão Europeia, 2001; Comissão Europeia, 2000).

A classificação dos resíduos foi transposta para direito nacional, pela Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março, colocando as lamas de ETAR no código LER 19 08 05.

A Diretiva Comunitária n.º 86/278/CEE, do Conselho, de 12 de Junho regulamenta a utilização das lamas de depuração na agricultura, estabelecendo as condições de aplicação e as quantidades que podem ser incorporados anualmente nos solos, atendendo aos valores limite de metais pesados presentes nas lamas e nos solos (Conselho da União Europeia, 1986). Este diploma encontra-se em processo de revisão.

As classes de aterros, as classes de resíduos e os critérios de aceitação dos resíduos nas diferentes classes de aterros são enquadradas a nível comunitário pela Diretiva 1999/31/EC. As classes de aterros são três: aterros para resíduos perigosos, aterros para não perigosos e aterros para inertes. No respeitante aos resíduos, estes podem ser colocados numa de quatro categorias, nomeadamente: Resíduos urbanos, resíduos perigosos, resíduos não perigosos e resíduos inertes (Conselho da União Europeia, 1999).

As metas estabelecidas nesta diretiva visam diminuir a deposição de matéria orgânica e resíduos biodegradáveis em aterro, sendo previsível uma cada vez maior dificuldade em utilizar este destino final para as lamas de depuração.

Os Centros Integrados de Recuperação, Valorização e Eliminação de Resíduos Perigosos (CIRVER) regulamentados pelo Decreto-Lei nº 3/2004, de 3 de Janeiro recebem os resíduos perigosos e conferem uma solução para lamas de ETAR que sejam um resíduo perigoso por

via da sua constituição físico-química, condicionada pelos tipos de efluentes tratados nas ETAR.

A nível europeu alguns países têm vindo a fomentar a valorização energética e a recorrer a soluções de eliminação de resíduos por via de processos de incineração e co-incineração, com regulação das emissões atmosféricas pelas Diretivas Comunitárias n.º 2000/76/CE, do Parlamento e do Conselho de 4 de Dezembro de 2000 e Diretiva n.º 2010/75/UE, de 24 de Novembro, para controlo integrados de poluição provocada pelas emissões industriais (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 2000; Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 2010).

Este é um destino que tem vindo a ser utilizado por alguns países do norte da Europa para as lamas de ETAR e apesar de em Portugal ainda não ser uma prática muito adotada, alguma indústria cimenteira já se encontra preparada para este efeito, existindo também interesse por parte desta indústria em reduzir os combustíveis fósseis utilizados na sua atividade (European Commission, 2010a).

Articulado com o processo de incineração e co-incineração o *Decreto-lei 127/2013*, de 30 de Agosto estabelece o regime das emissões industriais para controlo de emissões poluentes.

A legislação nacional transporta para os seus diplomas a legislação comunitária com algumas alterações que importa conhecer.

O Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho, (2011) clarifica conceitos chave que se relacionam com a prevenção da produção de resíduos e fomenta a sua reutilização e reciclagem com vista a prolongar o seu uso na economia estabelecendo uma ordem de prioridades nesse processo: Prevenção e redução; preparação para a reutilização; reciclagem; outros tipos de valorização e eliminação.

Este diploma é relevante na gestão das lamas de ETAR em vários aspetos, desde logo porque permite transferir a responsabilidade de gestão para entidades licenciadas e introduz o conceito de “armazenamento preliminar”, possibilitando a transferência de lamas para outros locais para posteriores operações de tratamento. Outro aspeto importante é a introdução do conceito de “Fim do estatuto de resíduo” no artigo 44º-B e aplicável a resíduos quando submetidos a uma operação de valorização satisfazendo critérios específicos indicados no Decreto-lei, que lhes permitem ser encarados como produto.

A operação de gestão dos resíduos onde são indicados os elementos que devem acompanhar o pedido de licenciamento das operações de armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos é enquadrada pela Portaria n.º 1023/2006 de 20 de setembro de 2006.

As lamas de ETAR são classificadas como um resíduo, com o código LER 190805 – Lamas do tratamento de águas residuais urbanas, classificação estabelecida na Portaria n.º 209/2004, de 3 de março a qual transcreve a Decisão n.º 2000/532,CE, da Comissão, de 3 de Maio (Portaria N.º 209/2004 de 3 de Março, 2004b).

Os resíduos sujeitam-se às regras definidas na *Portaria n.º 335/97 de 16 de Maio* no que respeita ao transporte de resíduos no território nacional, obrigando-se a fazerem-se acompanhar de uma Guia de Acompanhamento de Resíduos (GAR) por cada transporte realizado, de acordo com o Despacho n.º 8943/97, do Instituto dos Resíduos, de 9 de Outubro (II Série).

Não menos relevante o *Decreto-lei 152/97* de 19 de Junho estabelece as condições referentes à emissão das Licenças de Utilização do Meio Hídrico e os parâmetros de qualidade dos efluentes rejeitados para o meio recetor. Esta análise tem por base a dimensão da população servida pela ETAR e a caracterização da zona de descarga, repartida em zonas menos sensíveis e zonas mais sensíveis, importa perceber que quanto maior forem as restrições na descarga do efluente tratado maior será a produção de lamas.

Em suma, os destinos finais das lamas em Portugal, por norma, enquadram-se num dos seguintes:

- Eliminação, através da deposição em aterro, devendo ser dado cumprimento ao estipulado no Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto de 2009 (contudo há restrições na legislação para diminuir a fração orgânica que os resíduos podem receber);
- Compostagem para elaboração de matérias fertilizantes, devendo ser dado cumprimento ao Decreto-lei n.º 103/2015 de 15 de junho de 2015;
- Valorização Agrícola, através da incorporação no solo, devendo ser dado cumprimento ao estipulado no Decreto-Lei 276/2009 de 2 de Outubro de 2009.

### **3.1 DEPOSIÇÃO EM ATERRO**

O Decreto-Lei nº183/2009, de 10 de Agosto determina, entre outros aspetos específicos relacionados com a construção e gestão, as características do tipo de resíduos admitidos ao aterro, assente numa estratégia de redução da deposição dos resíduos biodegradáveis tal como definido pelo Regime Geral de Resíduos do Decreto-lei nº73/2011.

Relacionado com processo de deposição de lamas em aterro, o Plano Estratégico para Resíduos Urbanos 2020 (PERSU 2020) (*Portaria n.º 187-A/2014 de 17 de setembro do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia*, 2014) , procura reduzir a entrada de matéria orgânica em aterros sanitários além do estabelecido pelo Regime Geral de Resíduos.

Estes são aspetos fundamentais na abordagem ao destino final das lamas de ETAR atendendo a que, podendo ser valorizadas de outra forma, deve ser evitada a sua deposição nestas instalações.

### **3.2 COMPOSTAGEM**

O (*Decreto-lei n.º 103/2015 de 15 de junho do Ministério da Economia*, 2015), estabelece as regras a que deve obedecer a colocação no mercado de matérias fertilizantes, assegurando a execução na ordem jurídica interna das obrigações decorrentes do Regulamento (CE) n.º 2003/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de outubro de 2003, relativo aos adubos.

A entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 103/2015, de 15 de junho, estabelece as regras a que deve obedecer a colocação no mercado de matérias fertilizantes sendo aprovado no Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro, estabelecia a condições a aplicar na valorização de resíduos permitindo a atribuição de fim do estatuto de resíduo ao produto resultante, desde que seja evidenciado o cumprimento de critérios previamente definidos. Posteriormente o Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho que transpõe a Diretiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, reforça as condições a aplicar na valorização de resíduos fomentando a sua reutilização e reciclagem com vista a prolongar o seu uso na economia antes de os devolver em condições adequadas ao meio natural. Além disso, considera importante promover o pleno aproveitamento do novo mercado organizado de resíduos como forma de

consolidar a valorização dos resíduos, com vantagens para os agentes económicos, bem como estimular o aproveitamento de resíduos específicos com elevado potencial de valorização.

Por observação e cumprimento destes diplomas pode constituir estamos perante uma oportunidade para a atribuição de fim do estatuto de resíduo às lamas de depuração de algumas ETAR. Com este enquadramento, as lamas passariam a ser consideradas um produto o que permitiria simplificar o processo de gestão.

### **3.3 VALORIZAÇÃO AGRÍCOLA**

A valorização agrícola de lamas submete-se ao Decreto-Lei nº 276/2009, de 2 de Outubro, definindo as condições de aplicação de lamas de ETAR em solos agrícolas. Os princípios basilares assentam na proteção do ambiente e da saúde pública, estabelecendo as condições para a sua correta aplicação. Define um conjunto de restrições à utilização das lamas no solo, prevê procedimentos específicos de aplicação das lamas, bem como deveres de registo e informação por parte dos operadores de gestão de lamas.

Dentro das condições referidas destacam-se:

- O processo de licenciamento assente num Plano de Gestão de Lamas (PGL) gerido por um Técnico Responsável Acreditado que se responsabiliza pelos trabalhos e assegura a correta execução do PGL.
- Estabelecimento de condições referentes à aplicação das lamas nos solos considerado limites de compostos orgânicos, contaminação microbiológica e metais pesados. Assentes em determinações realizadas às lamas e aos solos.
- Definição das condições de espalhamento e incorporação das lamas nos solos em períodos de 24 ou 48 horas em função da matéria seca.
- Apresentação de uma Declaração do Planeamento das Operações (DPO) definindo as parcelas que irão ser sujeitas a utilização, relativa a uma exploração agrícola reportada a cada ano civil.

O licenciamento da utilização agrícola das lamas de depuração tem por base o PGL o qual obedece a um conjunto concreto de requisitos. De uma forma geral as empresas produtoras de



lamas acabam por recorrer a operadores licenciados para a realização destes processos, transferindo a responsabilidade dos mesmos, mediante pagamento destes serviços.

### 3.4 TRATAMENTO DAS LAMAS DE DEPURAÇÃO DAS ETAR

A Comissão Europeia introduziu os conceitos e distingue tratamentos avançados e convencionais, permitido aos operadores a utilização, com menos restrições, de lamas sujeitas a tratamentos avançados (European Commission, 2010b).

Dentro do tratamento convencional inclui-se o espessamento, estabilização e desidratação, remetendo-se para tratamento avançado o tratamento convencional, seguido de higienização.

A higienização compreende a secagem térmica, a estabilização aeróbia termofílica, digestão anaeróbia termofílica, tratamento térmico da lama líquida, condicionamento químico com cal.

Os tratamentos das lamas nas ETAR do Algarve encontram-se indicados no Quadro 3.1 - Tipologia de tratamento adotado nas ETAR da Águas do Algarve, S.A. na análise da mesma, verifica-se que estas instalações não dispõem de tratamentos avançados. De uma forma geral, as instalações apenas dispõem de tratamentos convencionais o que acaba por criar, logo à partida, algumas restrições no destino final a adotar.

Quadro 3.1 - Tipologia de tratamento adotado nas ETAR da Águas do Algarve, S.A.

Designação	Capacidade tratamento (hab. eq.)	Tratamento fase líquida		Tratamento fase sólida		
		Tipo	Nível	Estabilização	Desidratação	Produção
Vila Real de Santo António	116.500	Lagoa Arejadas + UV	S+D	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Almargem	48.150	LA+UV	S+D	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Santa Catarina da Fonte do Bispo	3.000	LA	S	Aeróbia	Leitos secagem	Descontínuo
Almada d'Ouro	2.800	LA	S	Aeróbia	Filtro banda	Contínuo
Martinlongo	1.250	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Alcoutim	800	LA	S	Aeróbia	Leitos secagem	Descontínuo
Quinta do Sobral	800	LA	S	Aeróbia	Desidratação noutra ETAR	Descontínuo
Balurcos	600	LA	S	Aeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Odeleite	600	Leitos plantas	S	Por definir	Equipamento móvel	Descontínuo
Vaqueiros	500	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Cachopo	500	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Pessegueiro	350	LA	S	Aeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Santa Marta	350	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Cortes Pereiras	350	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Giões	270	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo

Quadro 3.1 - Continuação

Designação	Capacidade tratamento (hab. eq.)	Tratamento fase líquida		Tratamento fase sólida		
		Tipo	Nível	Estabilização	Desidratação	Produção
Pereiro	270	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Furnazinhas	200	LA	S	Aeróbia	Desidratação noutra ETAR	Descontínuo
Santa Justa	200	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Alcarias	200	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Vilamoura	138.160	(LP + LA) + UV	S+D	Aeróbia	Filtro banda	Contínuo
Faro Nascente	87.500	LE	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Contínuo
Faro Noroeste	44 530	LA+UV	S+D	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Olhão Poente	45.000	LA+UV	S+D	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Quinta do Lago	27.000	LA + Biofiltros + Químico + UV	T+D	Anaeróbia	Centrifuga	Contínuo
Loulé	25.950	VO+UV	S+D	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Olhão Nascente	28.700	LA+UV	S+D	Aeróbia	Filtro banda	Contínuo
Vale de Lobo	8.100	VO+LE+UV	S+D	Aeróbia	Leitos secagem	Contínuo
Salir	4.200	LA+UV	T+D	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Alte	4.100	LA+UV	T+D	Aeróbia	Desidratação noutra ETAR	Descontínuo
Parragil	1.430	LA+UV	S+D	Aeróbia	Desidratação noutra ETAR	Descontínuo
Ameixial	1.000	LA + Desinfecção	S	Aeróbia	Leitos secagem	Contínuo
Benafim	1.000	LA + Desinfecção	S+D	Aeróbia	Leitos secagem	Contínuo
Querença	1.000	LA + Desinfecção	S+D	Aeróbia	Leitos secagem	Contínuo
Tôr	430	SBR	S	Aeróbia	Desidratação noutra ETAR	Contínuo
Albufeira Poente	133 900	LA+UV+ES	S+D	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Vale Faro	130.000	LA+UV	S+D	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Boavista	33.180	LA	S	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Ferreiras	22.160	LA+UV	S+D	Aeróbia	Filtros banda	Contínuo
Silves	15.300	LP+UV	S+D	Anaeróbia	Filtros banda	Contínuo
Pinhal do Concelho	10.000	LA+UV	T+D	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Lagoa	8.250	LP	S	Anaeróbia	Centrifuga	Contínuo
S. Bartolomeu de Messines	6.000	LE	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Paderne	2.500	LP+UV	T+D	Anaeróbia	Leitos secagem	Descontínuo
S. Marcos da Serra	1.000	Leitos plantas	S	Por definir	Por definir	Descontínuo
Companheira	198.000	LA+UV	S+D	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Lagos	138.000	(LP+LA)+UV	S+D	Anaeróbia	Centrifuga	Contínuo
Burgau/Cardal	10.000	LE	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Aljezur	6.500	VO+UV	S+D	Aeróbia	Filtro banda	Contínuo
Odeixe	5.420	LP+UV	S+D	Anaeróbia	Desidratação noutra ETAR	Descontínuo
Vale da Telha		LA leitos de plantas	S	Aeróbia Anaeróbia	Desidratação noutra ETAR	Descontínuo
Figueira/Salema	4.420	LE+UV	S+D	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo

Quadro 3.1 - Continuação

Designação	Capacidade tratamento (hab. eq.)	Tratamento fase líquida		Tratamento fase sólida		
		Tipo	Nível	Estabilização	Desidratação	Produção
Vila do Bispo	2.800	VO+UV	S+D	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo
Marmeleite	1.000	LA	S	Aeróbia	Leitos de secagem	Descontínuo
Rogil	1.730	LE	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Almádena	1.260	LE	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Barão de S. João	1.270	LE	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Barão de S. Miguel	840	LE	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Budens	700	LE	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Carrapateira	500	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Maria Vinagre	500	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Praia de Odeceixe	400	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Alferce	400	LA	S	Aeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Vale de Boi	500	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Bordeira	250	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Casais	300	LA	S	Aeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Pedralva	100	Leitos plantas	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
<b>Capacidade total de tratamento</b>	<b>1.154.540 (hab. eq.)</b>					

D – Desinfecção; LA – Lamas ativadas; LE – Lagoas de estabilização; LP – Leito Percolador; S – Secundário; T – Terciário; UV – Ultravioleta; VO – Vala de oxidação

De uma forma geral as instalações de maior capacidade e com sistema de tratamento intensivos utilizam, sistemas de desidratação de lamas por centrifugação ou com filtros de banda. Nenhuma destas instalações tem tratamentos avançados que permitam realizar a higienização das lamas, pelo que será espectável em termos microbiológicos, que os níveis sejam superiores aos constantes do Decreto-Lei nº 276/2009, de 2 de Outubro, impossibilitando a sua valorização agrícola direta na agricultura.

#### **4 CARATERIZAÇÃO DAS LAMAS DAS ETAR DO ALGARVE**

A Águas do Algarve, S.A. (AdA) foi criada em agosto de 2000, detendo a concessão, por um período de 30 anos, dos Sistemas Multimunicipais de Abastecimento de Água e de Saneamento do Algarve, abrange todos os 16 concelhos da região e serve cerca de 450 mil habitantes em época baixa e perto de um milhão e meio em época alta, nas áreas de tratamento e distribuição de água, bem como no tratamento dos efluentes domésticos (Águas do Algarve, S.A., 2016).

O Decreto-Lei n.º 167/2000 de 5 de agosto criou o Sistema Multimunicipal de Saneamento do Algarve atribuído por concessão à AdA pelo Decreto-Lei n.º 172-B/2001 de 26 de Maio. Atualmente compreende 66 ETAR, 14 com tratamentos secundários por lamas ativadas e desinfecção e 4 com tratamentos terciários e desinfecção, na Figura 1 representa-se o mapa da região do Algarve com a localização das ETAR consideradas no âmbito da presente dissertação (Águas do Algarve, S.A., 2016).

Os sistemas explorados pela AdA geram anualmente cerca de 30 mil toneladas matéria original de lamas de depuração, com origem em águas residuais predominantemente urbanas. Os principais destinos finais são; R3<sup>1</sup> - Compostagem (26%), D1 - Deposição em aterro (20%) e R13 - Armazenamento temporário (53%) (Águas do Algarve, S.A., 2016).

Na região do Algarve apenas existe uma estação de compostagem de capacidade limitada (capacidade para receber 10.000 t MO/ano de resíduos para incorporar em composto), pelo que, grande parte das lamas são enviadas para armazenamento temporário e compostagem na zona de Lisboa, Setúbal e Vale do Tejo e uma pequena fração tem sido depositada em aterro, no Alentejo (Águas do Algarve, S.A., 2016).

---

<sup>1</sup> Código em conformidade com a Lista Europeia de Resíduos



Figura 4.1 - Localização e distribuição das ETAR no Algarve. Fonte: (Águas do Algarve, S.A., 2016)

A maior produção de lamas é gerada na zona centro do Algarve com cerca de 80% da produção total, dos quais 88% são gerados em ETAR com regime de produção contínuo (Martins *et al.*, 2005). No seu modelo de administração, a AdA contrata a gestão dos serviços respeitante ao destino final das lamas com operadores licenciados, onde se incluem as atividades de recolha, transporte, armazenagem, tratamento, valorização por compostagem e destino final ou eliminação (Águas do Algarve, S.A., 2016).

Em termos dos parâmetros metais pesados, constata-se que as lamas geradas pelas ETAR contém valores em concentrações inferiores às impostas pela legislação em vigor para aplicação em agricultura. No Quadro 4.1 apresentam-se os intervalos de valores referentes à caracterização analítica das lamas, face aos parâmetros constantes do Anexo I, do Decreto-Lei n.º 276/2009, de 2 de outubro (Águas do Algarve, S.A., 2016).

A AdA tem em estudo dois grandes projetos para a construção de duas novas ETAR as quais serão relevantes, em termos futuros, para a produção de lamas na região. Nomeadamente a ETAR da Companhia em Portimão e a ETAR Intermunicipal Faro Olhão (Águas do Algarve, S.A., 2016).

Quadro 4.1- Caracterização das lamas das 11 ETAR principais produtoras de lamas do Algarve de acordo com o Decreto-lei n.º 276/2009, de 2 de outubro. Fonte: Águas do Algarve, S.A., 2016.

Parâmetro	Unidades	Intervalo de variação		Valores limite (Decreto-lei n.º 276/2009, de 2 de outubro)
		Mínimo	Máximo	
Parâmetros químicos				
Matéria seca (105°C)	%	12,3	38,7	Não aplicável
pH	-	6,1	8,3	Não aplicável
Matéria orgânica	%	9,8	84,9	Não aplicável
Matéria orgânica	% MS	38,2	84,5	Não aplicável
Azoto Amoniacal (NH <sub>4</sub> )	%	0,221	1,41	Não aplicável
Azoto Amoniacal (NH <sub>4</sub> )	% MS	0,15	9,07	Não aplicável
Azoto total	%	0,062	1,24	Não aplicável
Azoto total	% MS	0,39	14	Não aplicável
Azoto nítrico	%	< 0,001	0,026	Não aplicável
Azoto nítrico	% MS	< 0,004	4	Não aplicável
Fósforo	mg/kg MS	1.600	34.000	Não aplicável
Potássio	mg/kg MS	595	34.000	Não aplicável
Magnésio	mg/kg MS	570	9.300	Não aplicável
Cálcio	mg/kg MS	1.400	59.000	Não aplicável
Metais Pesados (conteúdos totais)				
Chumbo	mg/kg MS	10	120	750
Cádmio	mg/kg MS	0,1	7	20
Crómio total	mg/kg MS	12	100	1.000
Cobre	mg/kg MS	89,6	422	1.000
Níquel	mg/kg MS	12	57,2	300
Mercurio	mg/kg MS	0,06	7	16
Zinco	mg/kg MS	0,2	2.200	2.500
Microbiologia				
<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	8,00E+01	>1,5E+5	<1.000
<i>Salmonella spp</i>	-	Pos./50g		Ausente em 50 g de MO
MS: matéria seca; MO: Matéria orgânica				

O Decreto-Lei n.º 276/2009 estabelece ainda que as entidades licenciadoras CCDR, a ARH e, ou, a DRAP podem exigir a realização de análises a compostos orgânicos das lamas a aplicar na agricultura os quais estão indicados no Quadro 4.2, relativamente a estes parâmetros, licenças que têm vindo a ser emitidas para o Algarve não têm exigido a sua determinação, eventualmente porque se tratam de águas residuais com origem urbana, sem ligação significativa de indústrias, o que faz com que à partida não seja expectável a sua presença nas lamas, dispensando-se a sua determinação.

Quadro 4.2- Valores limite de concentração de compostos orgânicos nas lamas destinadas à agricultura.

Parâmetro	Unidades	Valores limite (Decreto-lei n.º 276/2009, de 2 de outubro)
<b>Compostos orgânicos</b>		
LAS (alquilo benzenossulfonatos lineares)	mg/kg	5000
NPE (nonilfenóis e nonilfenóis etoxilados)	mg/kg	450
PAH (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos)	mg/kg	6
PCB (compostos bifenilos policlorados)	mg/kg	0,8
PCDD (policlorodibenzodioxinas)	ng TEQ/kg	100
PCDF (furanos)	ng TEQ/kg	100

#### 4.1 PRODUÇÃO DE LAMAS

No trabalho de recolha e apuramento de informação recorreu-se aos dados e informação disponibilizada pela AdA para o período 2013 – 2015. A informação recolhida permite distinguir / agrupar as instalações tendo por base a sua capacidade de tratamento e geradora de lamas, bem como as características base do tipo de lamas geradas.

O número de ETAR que compõe o universo de exploração da AdA, de acordo com os dados constantes do anexo I é de 66 unidades. Os volumes de água residual tratada e a produção global de lamas expressa em toneladas de Matéria Original (MO) por ano para o sistema encontra-se resumido no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Produção geral de lamas e água residual tratada no sistema

Ano	Água residual tratada (m³)	Lamas produzidas (t MO)
<b>2013</b>	37.755.103	31.633
<b>2014</b>	41.339.643	29.605
<b>2015</b>	43.144.345	33.137

Analisando a evolução da produção anual de lamas da empresa para o triénio 2013 – 2015, verifica-se que a produção anual de lamas aparenta estar estabilizada num valor a rondar as 30.000 t MO/ano.

Relativamente à distribuição da produção de lamas pelas instalações, de acordo com o Quadro 4.4, verifica-se que em 65% das instalações não existiu produção de lamas derivado do tipo de tratamento utilizado e da sua dimensão.

Quadro 4.4 - Distribuição da produção de lamas pelas instalações

Instalação	Lamas produzidas no sistema 2013 (t)	Lamas produzidas no sistema 2014 (t)	Lamas produzidas no sistema 2015 (t)
Vale Faro	5.792	5.490	5.591
Vilamoura	4.864	3.296	4.250
Vila Real de Santo António	1.854	2.299	3.971
Albufeira Poente	2.502	2.123	3.497
Loulé	1.701	1.782	2.269
Almargem	3.171	2.724	2.266
Lagos	1.651	1.618	2.137
Faro Noroeste	2.520	2.217	2.105
Quinta do Lago	1.803	1.553	1.483
Pinhal do Concelho	965	1.548	1.430
Ferreiras	1.252	1.021	1.124
Olhão Nascente	1.189	700	930
Boavista	961	826	825
Aljezur	396	438	360
Silves	500	170	275
Lagoa	308	215	256
Vale do Lobo	87	1.477	177
Salir	86	61	124
Paderne	23	21	24
Querença	0	0	15
Benafim	8	17	11
Parragil*	0	0	9
Ameixial	0	10	8
Faro Nascente	0	0	0
Casais*	0	0	0
Praia de Odeceixe	0	0	0
Alte*	0	0	0
Vaqueiros	0	0	0
Olhão Poente	0	0	0
Pedralva	0	0	0
Pessegueiro*	0	0	0
Figueira	0	0	0
Rogil	0	0	0
Furnazinhas	0	0	0
Carrapateira	0	0	0
Giões	0	0	0
Alferce*	0	0	0
Hortas Tabual	0	0	0
ETP Sagres-Martinhal	0	0	0
Cortes Pereiras*	0	0	0
Cachopo	0	0	0
Pereiro*	0	0	0
Balurcos	0	0	0
Barrada	0	0	0
Companheira	0	0	0
Quinta Sobral	0	0	0



Quadro 4.4 - Continuação

Instalação	Lamas produzidas no sistema 2013 (t)	Lamas produzidas no sistema 2014 (t)	Lamas produzidas no sistema 2015 (t)
Barão de S. João	0	0	0
Raposeira	0	0	0
S. Bartolomeu Messines	0	0	0
Burgau	0	0	0
Budens	0	0	0
Santa Justa*	0	0	0
Santa Marta	0	0	0
Tôr	0	0	0
Vale da Telha	0	0	0
Vale de Boi	0	0	0
Almádena	0	0	0
Alcoutim*	0	0	0
Odeceixe*	0	0	0
Vila do Bispo	0	0	0
Odeleite	0	0	0
Bordeira	0	0	0
Barão S. Miguel	0	0	0
Marmelete*	0	0	0
Martinlongo	0	0	0
Maria Vinagre	0	0	0
<b>Total Geral</b>	<b>31.633</b>	<b>29.605</b>	<b>33.137</b>

\*As lamas produzidas nestas instalações, em alguns períodos, foram transportadas e desidratadas em outras ETAR, sendo quantificadas na instalação recetora.

Nos dados apresentados anteriormente, pode-se identificar um número significativo de instalações com sistemas de tratamento de águas residuais que não geram lamas em contínuo, tratam-se de sistemas extensivos onde a extração de lamas ocorre de forma pontual ou instalações de pequena dimensão sem desidratação própria cujas lamas produzidas são transferidas para serem desidratadas em outras ETAR.

Os sistemas extensivos permitem que a remoção de lamas se efetue com periodicidades de 5 ou mais anos (Crites, 2010), permitindo a que a análise e gestão das lamas produzidas desta forma se realize com outro tipo de abordagem, comparativamente com os sistema de produção em contínuo.

As instalações atuais que servem Portimão, parte de Olhão e parte de Faro, com tratamento por lagunagem, são pouco relevantes na produção de lamas em contínuo, contudo com a sua desativação a curto prazo, resultam 2 situações distintas e relevantes para a gestão das lamas:

1. Será necessário levar a destino final as grandes quantidades de lamas acumuladas nas lagoas ao longo dos últimos anos de serviço. Trata-se de um evento concentrado no

tempo, o que pode causar dificuldades de absorção por parte das entidades recetoras deste tipo de resíduo;

2. O segundo aspeto prende-se com a tecnologia de tratamento das águas residuais a implementar. As lamas ativadas requerem uma permanente evacuação das lamas produzidas. Tratam-se de ETAR que vão servir os maiores centros urbanos da região do Algarve com uma produção de lamas espetável de 7.000 t MO/ano por cada unidade. Significa um aumento a rondar cerca de 45% da produção total atual em toda a região. Esta alteração vai ter impactes significativos em termos económicos, prevendo-se um aumento dos custos globais e maiores dificuldades em encontrar soluções à escala regional.

Tomando por base estas duas situações será relevante conseguir otimizar a qualidade das lamas em aspetos tais como o teor de matéria seca da lama a levar a destino final, bem como gerir o seu escoamento de forma a serem absorvidas pelos operadores licenciados.

Efetuando uma agregação das produções acumuladas de lamas por instalação, na Figura 4.2, consegue-se constatar que mais de 90 % das lamas são produzidas em apenas 11 instalações da AdA do universo de 66.

Atendendo ao regime de produção de lamas e à quantidade de lamas produzidas, o objeto de estudo, para caracterização mais específica, foi reduzido para 11 instalações, representando cerca de 90 % da produção de lamas total anual da AdA.

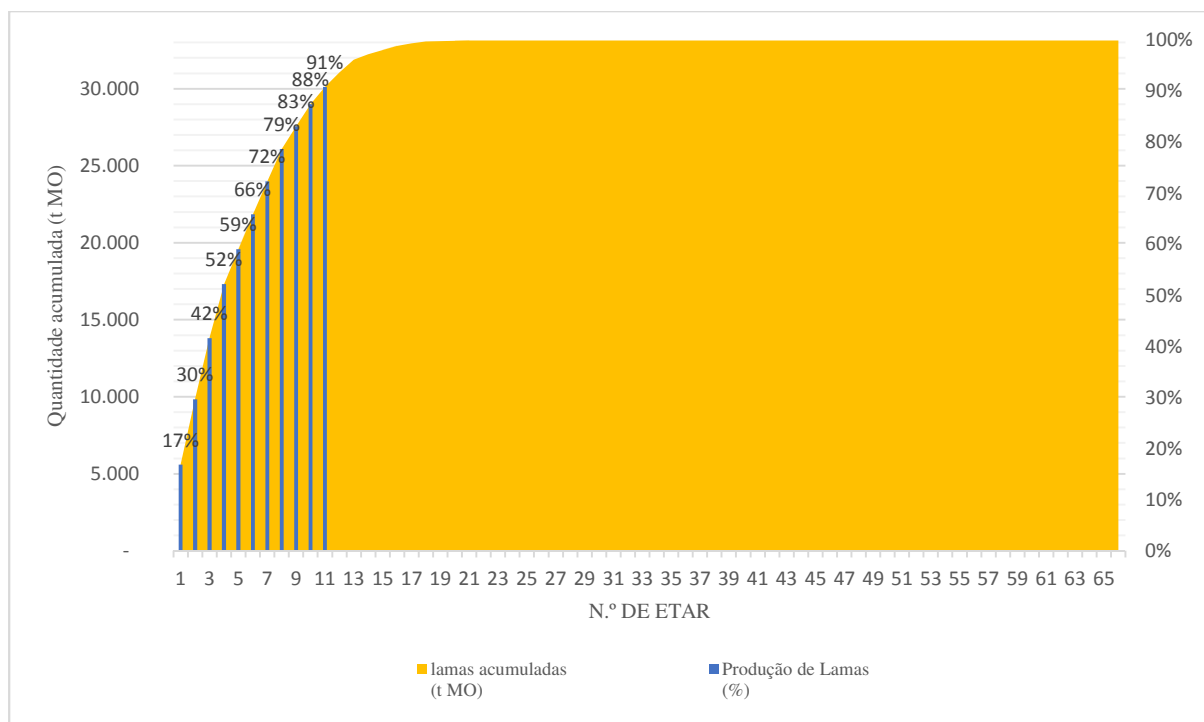


Figura 4.2 - Distribuição acumulada da produção de lamas.

Numa análise por instalação, temos como maiores produtores as ETAR identificadas na Figura 4.3, as quais contribuem com cerca de 90% do total das lamas produzidas na região.

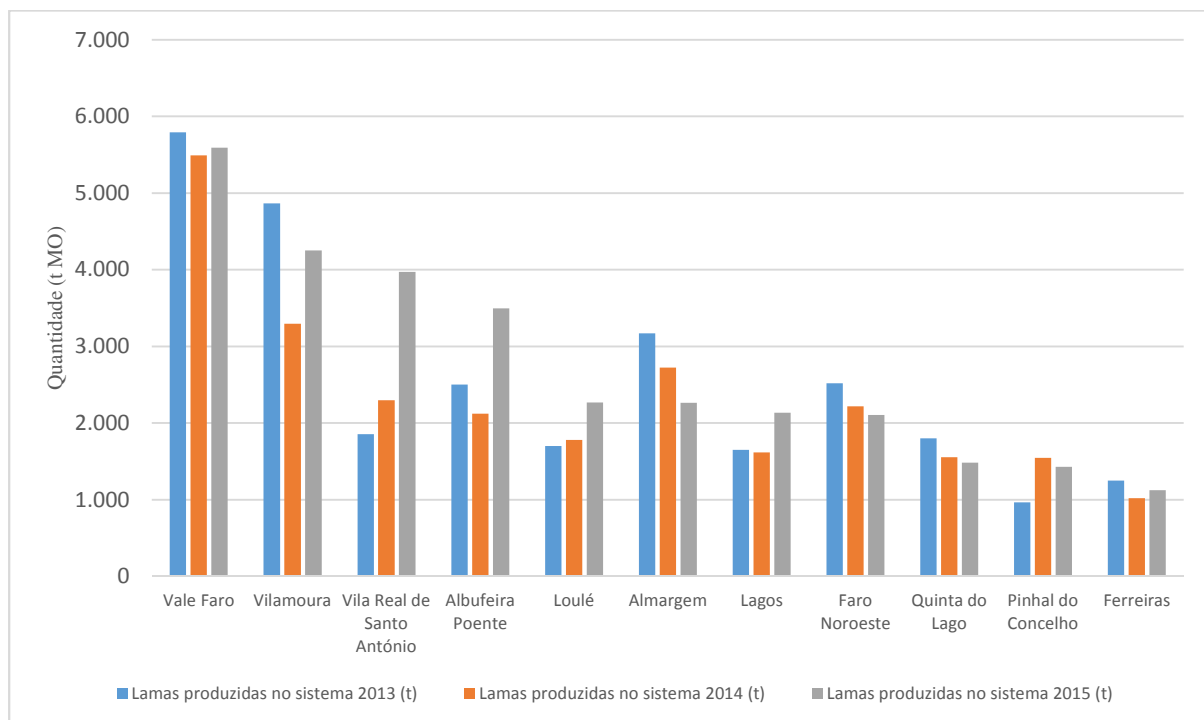


Figura 4.3- Distribuição da produção de lamas pelas 11 principais instalações produtoras de lamas da AdA, no período 2013 – 2015.

Do estudo efetuado às principais instalações produtoras de lamas, observa-se que, em 2015, as instalações de Albufeira Poente, Vila Real de Santo António, Vilamoura e Vale Faro, são o que mais contribuem para a produção.

As instalações de Vila Real e Albufeira Poente foram as que registaram maiores aumentos de produção de lamas, ao longo do triénio, este fator deve-se ao aumento dos caudais afluentes, derivado de maiores áreas servidas ligadas à ETAR, sendo espectável que se mantenham estes níveis de produção de lamas.

Analisando os caudais tratados, representados na Figura 4.4, para as mesmas ETAR, verifica-se que a ETAR de Lagos, que possui sistema de tratamento por lamas ativadas em regime de média carga, apresenta um elevado volume de águas residuais tratadas, o que não se traduz na maior produção final de lamas, acabando esta instalação por ser o sétimo produtor de lamas do sistema. Esta baixa produção de lamas, comparativamente com as outras instalações, está relacionada com os processos adotados pela linha de lamas desta ETAR, nos quais a digestão anaeróbia tem um papel fundamental, não só na redução da matéria orgânica mas também na maior sicidade das lamas desidratadas.

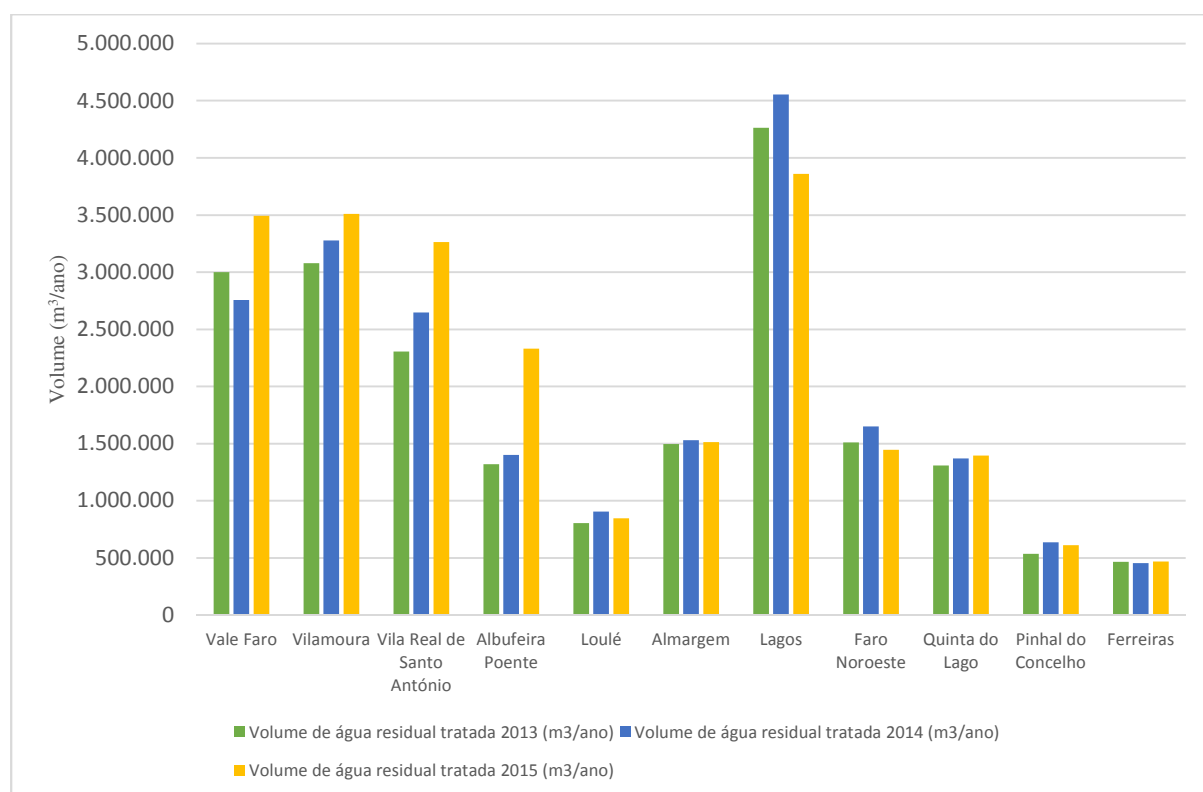


Figura 4.4 - Volume de água residual tratada pelas 11 principais instalações produtoras de lamas, para o período 2013 – 2015.

As 11 instalações com maior produção de lamas encontram-se indicadas no Quadro 4.5, associando-se a cada uma o volume de água residual tratada e a produção de lamas, expressa em toneladas de MO por ano para o triénio de 2013 - 2015.

*Quadro 4.5 - Resumo do volume de água residual tratada e produções de lamas das principais instalações geradoras de lamas*

<b>Instalação</b>	<b>Volume de água residual tratada 2013 (m³/ano)</b>	<b>Lamas produzidas no sistema 2013 (t MO)</b>	<b>Volume de água residual tratada 2014 (m³/ano)</b>	<b>Lamas produzidas no sistema 2014 (t MO)</b>	<b>Volume de água residual tratada 2015 (m³/ano)</b>	<b>Lamas produzidas no sistema 2015 (t MO)</b>
Vale Faro	2.999.848	5.792	2.757.119	5.490	3.493.942	5.591
Vilamoura	3.079.917	4.864	3.277.965	3.296	3.508.729	4.250
Vila Real de Santo António	2.305.687	1.854	2.647.037	2.299	3.263.771	3.971
Albufeira Poente	1.318.886	2.502	1.402.219	2.123	2.331.286	3.497
Loulé	805.795	1.701	905.859	1.782	846.223	2.269
Almargem	1.496.731	3.171	1.529.049	2.724	1.513.570	2.266
Lagos	4.261.992	1.651	4.554.393	1.618	3.858.930	2.137
Faro Noroeste	1.510.059	2.520	1.650.725	2.217	1.447.156	2.105
Quinta do Lago	1.309.635	1.803	1.369.209	1.553	1.395.098	1.483
Pinhal do Concelho	536.657	965	635.661	1.548	611.090	1.430
Ferreiras	467.235	1.252	453.844	1.021	469.882	1.124
<b>Total Geral</b>	<b>20.092.442</b>	<b>28.075</b>	<b>21.183.080</b>	<b>25.672</b>	<b>22.739.677</b>	<b>30.123</b>

Ao realizar uma análise às produções específicas destas instalações (Quadro 4.6), verifica-se que a ETAR de Lagos é a que apresenta os menores rácios de produção de lamas. Tal como já referido, esta situação está diretamente relacionada com a linha de tratamento de lamas desta instalação, que tem uma etapa de digestão anaeróbia em regime mesófilico que permite reduzir a produção de lamas de forma significativa quando comparada com as restantes ETAR.

No que respeita à ETAR de Vila Real de Santo António, instalação que em 2013 e 2014 apresentava rácios também baixos, verificou-se um aumento nesse rácio em 2015.

Esta situação está diretamente relacionada com o aumento do volume afluente e com a estabilização das lamas nos reatores biológicos. Efetivamente com o aumento do volume afluente o tempo de estabilização das lamas por via aeróbia no reator biológico diminui, levando à necessidade de remover lamas com maior frequência e a um aumento da sua produção.

Quadro 4.6- Produção específica de lamas por instalação

Designação da ETAR	Rácio 2013 (kg MO/ m <sup>3</sup> )	Rácio 2014 (kg MO/ m <sup>3</sup> )	Rácio 2015 (kg MO/ m <sup>3</sup> )
Vale Faro	1,93	1,99	1,60
Vilamoura	1,58	1,01	1,21
Vila Real de Santo António	0,80	0,87	1,22
Albufeira Poente	1,90	1,51	1,50
Loulé	2,11	1,97	2,68
Almargem	2,12	1,78	1,50
Lagos	0,39	0,36	0,55
Faro Noroeste	1,67	1,34	1,45
Quinta do Lago	1,38	1,13	1,06
Pinhal do Concelho	1,80	2,44	2,34
Ferreiras	2,68	2,25	2,39

Influenciando de forma significativa os rácios anteriores encontra-se a tipologia do tratamento das águas residuais e da linha de lamas. No respeitante a estas características o tratamento de lamas destas 11 instalações, tal como se pode constatar no Quadro 4.7, todas apresentam regimes de produção de lamas em contínuo, com desidratação *in-situ*.

Da análise efetuada entre a produção de lamas e o volume de água tratada, resulta uma correlação entre o tipo de processo adotado na linha líquida e na linha de lamas com a produção final de lamas da instalação. As ETAR de Albufeira Poente, Vila Real de Santo António, Vilamoura e Vale Faro, são instalações com Linhas líquidas de arejamento prolongado e Linhas de lamas compostas por espessamento e desidratação. A estas instalações corresponde um maior rácio de produção de lamas do que para a ETAR de Lagos constituída por uma linha líquida de lamas ativadas a média carga, seguida de uma linha de lamas com espessamento e digestão anaeróbia.

O tipo de tratamento com recurso a estabilização aeróbia, embora com custos de investimento menores, é aquele que leva a maior produção de lamas a remover da instalação, bem como pelo facto destas ETAR não possuírem lamas primárias, mas apenas secundárias, pelo que são mais difíceis de desidratar e apresentam menores teores de matéria seca.

Não obstante, nas soluções recentemente realizadas na AdA para a construção das novas ETAR de Companhia e ETAR intermunicipal de Faro/ Olhão, a solução de tratamento global

considerou como melhor solução integrada técnico-económica (linha de tratamento da fase líquida mais linha de tratamento da fase sólida) a estabilização aeróbia das lamas.

Ainda a partir do Quadro 4.7 constata-se que o armazenamento das lamas desidratadas ocorre em silos em 5 das instalações ou em contentores, sendo a ETAR de Lagos a única instalação cujo armazenamento das lamas desidratadas é feito em galera. Desta análise verifica-se que a capacidade de armazenamento é geralmente reduzida o que limita a flexibilidade de gestão das lamas nas instalações.

*Quadro 4.7 - Tipologia do tratamento e armazenamento de lamas nas instalações*

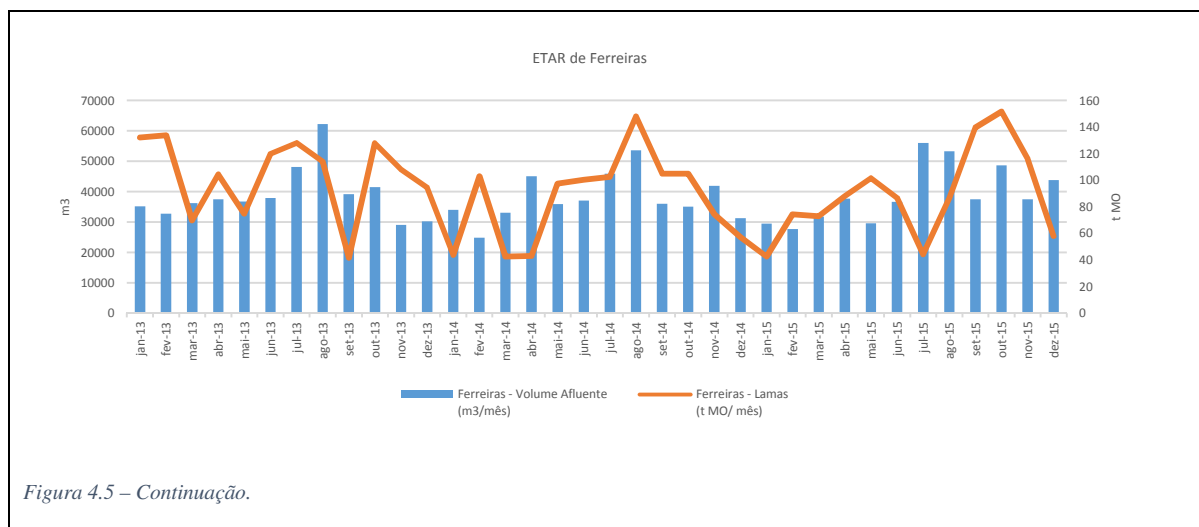
Designação da ETAR	Estabilização	Desidratação	Produção	Armazenamento	Capacidade de armazenamento (dias)
Vale Faro	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo	Contentor	1
Vilamoura	Aeróbia	Filtro banda	Contínuo	Silo	5
Vila Real de Santo António	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo	Silo	6
Albufeira Poente	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo	Silo	7
Loulé	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo	Contentor	3
Almargem	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo	Silo	9
Lagos	Anaeróbia	Centrifuga	Contínuo	Galera	6
Faro Noroeste	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo	Silo	11
Quinta do Lago	Anaeróbia	Centrifuga	Contínuo	Contentor	4
Pinhal do Concelho	Aeróbia	Centrifuga	Contínuo	Contentor	5
Ferreiras	Aeróbia	Filtros banda	Contínuo	Contentor	6

Numa análise mais detalhada, relacionando o caudal tratado com a produção de lamas numa base mensal (Figura 4.5), pode-se constatar, como seria de esperar, que, de uma forma geral, com o aumento da afluência maior é a produção de lamas. Naturalmente a capacidade existente em cada instalação permite desfazar ligeiramente a evacuação de lamas, existindo meses com maior caudal afluente mas que a maior produção de lamas só se vai refletir no mês seguinte.



Figura 4.5 - Relação entre a produção de lamas e os caudais afluentes pelas 11 principais instalações produtoras de lamas da AdA





As soluções de armazenagem de lamas desidratadas destas instalações é limitada, de uma forma geral inferior a 11 dias. Se cruzarmos a informação relativa à capacidade de armazenamento de lamas com a sua produção anual, como se pode verificar na Figura 4.6, conclui-se que as unidades de maior produção de lamas têm menor capacidade de armazenamento.

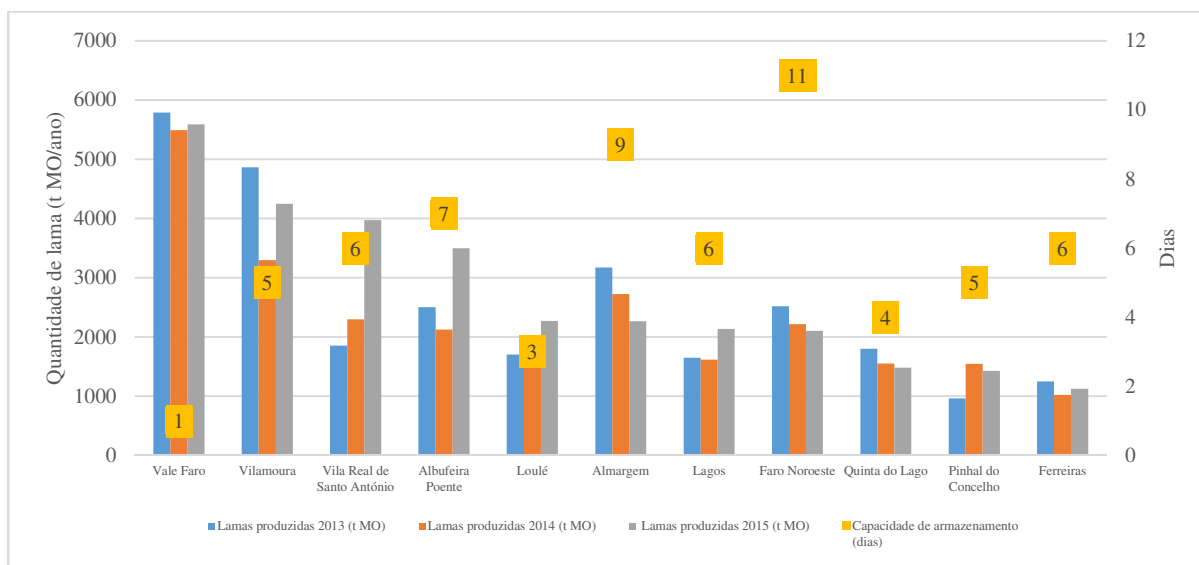


Figura 4.6 - Produção de lamas e capacidade de armazenamento

Esta situação obriga em termos de operação que haja uma remoção regular das lamas desidratadas das ETAR. Outra questão relevante prende-se com os picos de produção, dado que a análise apresentada se refere a uma produção média anual de lamas contudo, se considerarmos fatores sociológicos, particularmente a afluência turística no Verão, conclui-se

que existem picos de produção de lamas nos períodos de época alta e a capacidade de armazenamento ainda é inferior à apresentada.

De acordo com o Decreto de Lei 276 de 2009, o produtor de lamas deverá dispor de uma instalação de armazenagem cuja capacidade permita assegurar a armazenagem de lamas relativa à produção média de 3 meses. Outra limitação para a aplicação direta das lamas na agricultura, prende-se com proibição da aplicação das lamas nos solos no período de novembro a janeiro, exceto quando seja agronomicamente justificável. Em alternativa poderá o produtor contratualizar a transferência de lamas para operador devidamente licenciado, sendo este o procedimento atualmente adotado pela AdA.

Considerando os dois aspetos focados anteriormente e atendendo a que as instalações não dispõem de tempos de armazenagem das lamas muito dilatados, conclui-se que este é um fator condicionante na gestão que deve ser avaliado.

Por observação do Quadro 4.8 podemos verificar a % de MS das lamas nas instalações é relativamente consistente, contudo a maioria da instalação apresenta valores médios abaixo dos 20% de MS que seria o valor de referência. Esta situação significa que se está a transportar mais água para destino final do que seria desejado.

As instalações de Vale Faro, Pinhal do Concelho e Ferreiras apresentam valores particularmente baixos, merecendo que se faça uma reflexão no sentido de se tentar otimizar o processo de forma a obter valores de MS nas lamas desidratadas mais elevados.

*Quadro 4.8- Variação da MS por instalação ao longo do Triénio.*

Designação da ETAR	MS Ano de 2013 (%)	MS Ano de 2014 (%)	MS Ano de 2015 (%)
Vale Faro	14,2	14,7	15,4
Vilamoura	20,1	19,4	18,2
Vila Real de Santo António	18,3	19,6	20,2
Albufeira Poente	17,8	17,5	17,7
Loulé	17,1	15,6	16,7
Almargem	21,9	17,4	18,8
Lagos	23,9	23,7	25,3
Faro Noroeste	17,3	16,8	17,3
Quinta do Lago	15,9	18,8	22,0
Pinhal do Concelho	13,0	13,1	14,6
Ferreiras	14,0	13,3	13,5

O armazenamento temporário e a compostagem são os principais destinos finais de lamas, representando, em 2015, 89% do total, a que corresponde um quantitativo de 29.527 t/ano conforme ilustrado na Figura 4.7.

Considerando que o destino das lamas após os processos de armazenamento temporário (pela informação disponibilizada após este processo as lamas seguem para compostagem) e compostagem direta seguem para valorização agrícola, conclui-se que o principal destino final das lamas produzidas tem sido, embora de forma indireta, a agricultura.

Na análise realizada para o período de 2013 – 2015, verifica-se ainda que a valorização agrícola direta tem deixado de ser uma opção e o aterro continua a ter algum significado, mas apenas devido a decisões do Consórcio de empresas que efetuou a gestão de lamas e não a impedimentos ao armazenamento temporário e unidades de compostagem.

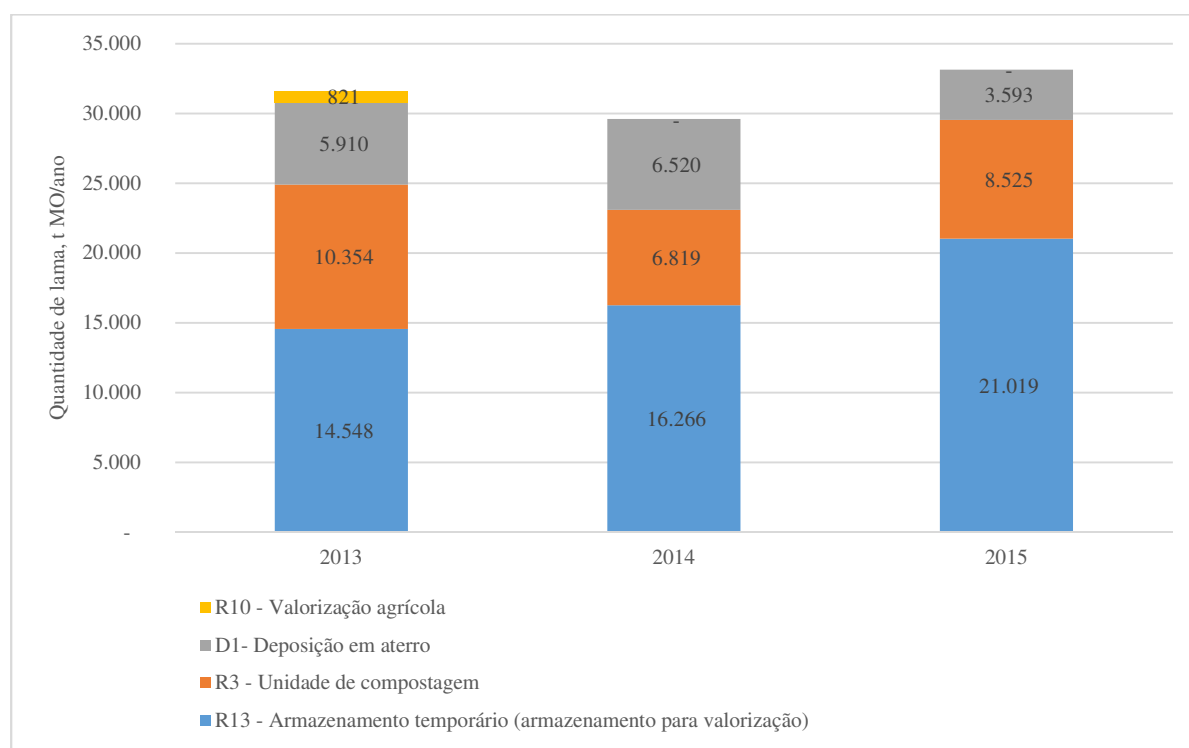


Figura 4.7 - Distribuição da produção anual (t/ano) por destino final das lamas, período 2013 a 2015.

O destino final adotado encontra-se condicionado pela qualidade das lamas, em termos microbiológicos, conforme já foi referido, as lamas não cumprem os requisitos para uma aplicação direta na agricultura sendo encaminhadas preferencialmente para compostagem (cujo valor a pagar é inferior ao custo do aterro e ambientalmente é uma melhor solução).

O encaminhamento das lamas para compostagem por subcontratação de um operador licenciado, encerra em si uma solução que evita procedimentos de aplicação agrícola inadequados, dando melhores garantias à AdA de um correto encaminhamento do subproduto.

#### 4.1.1 Custos de deposição

Os custos com a deposição de lamas têm apresentado uma tendência para a redução influenciado naturalmente pelo desenvolvimento de processos de concurso que privilegiam a concorrência ao nível dos operadores licenciados e disponibilizam cada vez mais informação, permitindo aos operadores ajustar melhor as suas propostas.

Para o período em análise e constantes do Quadro 4.9, são observados valores de deposição de lamas para as instalações da AdA referentes a 2 concursos. De uma forma geral os custos baixaram, exceto para a ETAR de Vale Faro e Ferreiras. Estas duas instalações são penalizadas pelo tipo de armazenamento/ transporte das lamas ambas com recurso a contentor.

Se verificarmos na variação de um contrato para o outro, instalações com tipo de armazenamento/ transporte das lamas em contentor harmonizaram os seus preços para próximo dos 38 €/t.

*Quadro 4.9 - Evolução do preço unitário para deposição de lamas por instalação.*

Designação da ETAR	Preço unitário de deposição (€/t) Período de 1 Jan a 28 ago de 2013	Preço unitário de deposição (€/t) Período de 28 ago 2013 a 31 dez de 2015	Armazenamento
Vale Faro	29,87 €	37,79 €	Contentor
Vilamoura	31,00 €	28,81 €	Silo
Vila Real de Santo António	47,96 €	47,96 €	Silo
Albufeira Poente	32,24 €	30,24 €	Silo
Loulé	51,50 €	37,44 €	Contentor
Almargem	39,08 €	39,08 €	Silo
Lagos	36,00 €	36,00 €	Galera
Faro Noroeste	33,28 €	31,70 €	Silo
Quinta do Lago	52,00 €	37,54 €	Contentor
Pinhal do Concelho	28,00 €	27,50 €	Contentor
Ferreiras	28,27 €	37,60 €	Contentor

Os valores mais baixos são encontrados para instalações com silos de lamas, rondando em termos médios os 30 €/t com exceção das ETAR de Almargem e Vila Real de Santo António que são instalações penalizadas pela maior distância. Refira-se que as instalações de Almargem e Vila Real de Santo António e Lagos fazem parte de um subcontrato de prestação de serviços

global e não foram incluídas na negociação dos contratos da AdA pelo que mantêm o mesmo valor para todo o período.

A existência de sistemas de armazenamento maiores pode aumentar a flexibilidade da gestão nos aspetos da operação da instalação, transporte e destino final, maximizando a quantidade de lamas por cada transporte, minimizando os custos de transporte e os custos associados aos dispositivos necessários para contentorização das lamas.

Refira-se ainda que da forma como o concurso da AdA foi elaborado, não existe diferenciação de preços para o destino final adotado.

Em termos globais foram apurados os encargos constantes do Quadro 4.10. No total a operação de transporte e deposição de lamas representa cerca de 1 milhão de euros de encargos anuais.

*Quadro 4.10 - Valores globais da deposição de lamas por instalação*

Designação da ETAR	Ano de 2013	Ano de 2014	Ano de 2015
Vale Faro	178.597,68 €	207.458,03 €	211.291,07 €
Vilamoura	148.926,60 €	94.944,51 €	122.438,47 €
Vila Real de Santo António	88.936,06 €	110.270,59 €	190.472,18 €
Albufeira Poente	82.272,81 €	64.193,17 €	105.740,51 €
Loulé	77.817,14 €	66.730,44 €	84.935,26 €
Almargem	123.927,37 €	106.467,21 €	88.538,91 €
Lagos	59.444,64 €	58.253,76 €	76.941,00 €
Faro Noroeste	83.936,86 €	70.282,39 €	66.730,72 €
Quinta do Lago	86.003,70 €	58.310,88 €	55.659,06 €
Pinhal do Concelho	20.128,08 €	42.568,63 €	39.326,65 €
Ferreiras	38.808,99 €	38.406,14 €	42.265,41 €
<b>Total</b>	<b>988.799,94 €</b>	<b>917.885,74 €</b>	<b>1.084.339,23 €</b>

Atendendo aos valores globais da operação, justifica-se fazer uma análise tendo em vista a redução destes custos. Dentro das opções de armazenamento das lamas os silos de lamas podem ser uma boa opção considerando um armazenamento de 1 semana, permitem efetuar cargas completas em viaturas de maior capacidade, sendo uma solução bastante flexível tanto para a gestão das instalações, quer para os operadores permitindo realizar uma programação atempada da evacuação das lamas.

A contentorização, com capacidades entre 6 a 20 m<sup>3</sup>, encerra em si um custo de aluguer e traduz-se, numa pequena quantidade de lamas comparativamente com as galeras, o que faz aumentar os custos de transporte e de contentorização.

Os leitos de secagem não são efetivamente locais de armazenamento de lamas, contudo por permitirem a acumulação de lamas durante períodos de tempo relativamente longos, podem ser vistos dessa forma, são no entanto soluções apenas aplicáveis para pequenas instalações devido à elevada área que necessitam.

Dentro das soluções de armazenamento, o parque de lamas com capacidade mínima para 3 meses apresenta enormes vantagens de flexibilidade na gestão de lamas quer pelo tempo de armazenamento e programação dos transportes, quer porque o armazenamento permite alguma estabilização microbiológica e redução do volume de lamas a levar a destino final por perda de alguma humidade. Conjugando estas melhorias, a aplicação das lamas na agricultura sem recurso a compostagem pode ser uma solução viável em alguns períodos do ano.

Considerando os valores de MS das lamas (Figura 4.8), os dados demonstram uma variação significativa das diferentes instalações, variando entre os 13,0 % (mínimo) e os 25,3 % (máximo), o que aponta para a possibilidade de otimização das soluções de estabilização e desidratação das lamas em algumas instalações.

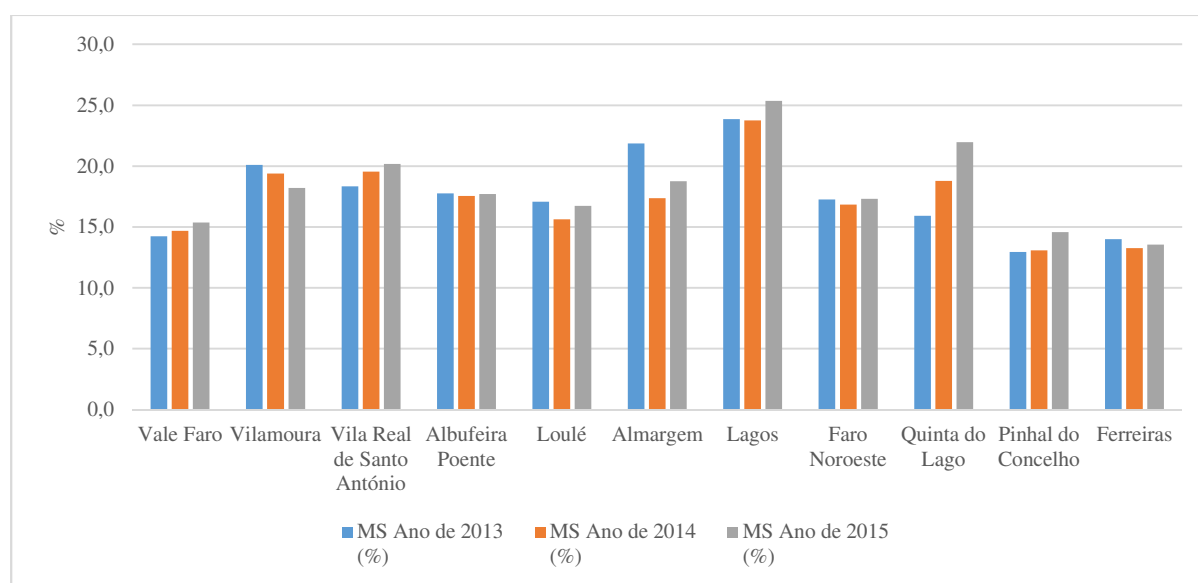


Figura 4.8- Percentagem de matéria seca média anual das lamas produzidas por instalação.

Analisando a percentagem de MS média ao longo do triénio por instalação considerando o sistema de desidratação e o tipo de estabilização utilizado (Quadro 4.11), verifica-se que os maiores teores de MS são obtidos na ETAR de Lagos.

Efetivamente as ETAR com sistemas de arejamento prolongado e estabilização aeróbia das lamas têm lamas particularmente difíceis de desidratar, comparativamente as lamas da ETAR

de Lagos resultantes de um sistema de lamas ativadas de média carga com separação das lamas primárias, seguidas de um processo de digestão anaeróbia facilitam a desidratação originando teores de MS mais elevados, estes resultados são corroborados pela bibliografia (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Refira-se que os sistemas de lamas ativadas de arejamento prolongado não têm por norma digestores anaeróbios atentando a que estabilização das lamas por via aeróbia os torna pouco produtivos, para aumentar o seu desempenho poderia ser instalado um pré-tratamento a montante do digestor, como um reator de Hidrólise Térmica, contudo a solução económica fica bastante dispendiosa e é inviabilizada por essa via.

No que respeita ao tipo de equipamento utilizado para desidratação das lamas, nota-se uma grande variação dentro da matéria seca obtida, pelo que, os resultados são inconclusivos relativamente aos equipamentos de podem ser mais eficientes, apesar de a bibliografia (Tchobanoglous *et al.*, 2003) apontar para melhores resultados obtidos pelas centrífugas comparativamente com os filtros de bandas.

*Quadro 4.11- Percentagem de matéria seca obtida por tipologia de estabilização e sistema de desidratação das instalações*

Designação da ETAR	Tipo de equipamento de desidratação	Tipo de estabilização das lamas	Média de MS para o Triénio (%)
Vale Faro	Centrífuga	Aeróbia	14,8
Vilamoura	Filtro de bandas	Aeróbia	19,2
Vila Real de Santo António	Centrífuga	Aeróbia	19,4
Albufeira Poente	Centrífuga	Aeróbia	17,7
Loulé	Centrífuga	Aeróbia	16,5
Almargem	Centrífuga	Aeróbia	19,3
Lagos	Centrífuga	Anaeróbia	24,3
Faro Noroeste	Centrífuga	Aeróbia	17,1
Quinta do Lago	Centrífuga	Aeróbia	18,9
Pinhal do Concelho	Centrífuga	Aeróbia	13,5
Ferreiras	Filtro de bandas	Aeróbia	13,6

A ETAR de Vale Faro é atualmente a instalação com maior produção anual de lamas na AdA não obstante é uma das instalações que, tal como verificado anteriormente, apresenta menor percentagem de matéria seca. A bibliografia (Tchobanoglous *et al.*, 2003) indica como valor de referência 20% de MS nas lamas desidratadas, se considerarmos uma otimização da

desidratação para as instalações a baixo destes valores, poderíamos considerar um potencial de redução de custos da ordem dos 398.531,09 € tal como demonstrado no Quadro 4.12.

*Quadro 4.12 - Potencial de redução de encargos no triénio por via do aumento da MS para o valor de referência de 20%*

Designação da ETAR	Média MS do triénio	Produção de lamas do triénio MO (t)	Preço unitário destino final (€/t)	Encargos do Triénio	MS Objetivo	Potencial de MO a destino final (t)	Encargos potenciais para MS a 20%	Potencial de redução de encargos no triénio
Vale Faro	15%	16.873	37,79€	637.622,73€	20%	12.486	471.840,82€	-165.781,91€
Vilamoura	19%	12.410	28,81€	357.521,15€	20%	11.913	343.220,31€	-14.300,85€
Vila Real S. António	19%	8.125	47,96€	389.678,84€	20%	7.881	377.988,47€	-11.690,37€
Albufeira Poente	18%	8.121	30,24€	245.593,56€	20%	7.188	217.350,3€	-28.243,26€
Loulé	17%	5.752	37,44€	215.357,31€	20%	4.745	177.669,78€	-37.687,53€
Almargem	19%	8.161	39,08€	318.933,48€	20%	7.875	307.770,81€	-11.162,67€
Faro Noroeste	17%	5.407	31,70€	171.390,81€	20%	4.623	146.539,14€	-24.851,67€
Quinta do Lago	19%	6.842	37,54€	256.841,17€	20%	6.466	242.714,91€	-14.126,26€
Pinhal do Concelho	14%	4.839	27,50€	133.065,63€	20%	3.266	89.819,3€	-43.246,33€
Ferreiras	14%	3.943	37,60€	148.250,78€	20%	2.681	100.810,53€	-47.440,25€
<b>Total</b>								<b>-398.531,09 €</b>

Tendo em consideração a produção atual de lamas na AdA e os custos subjacente, conclui-se que a promoção de otimizações no funcionamento das etapas da linha de lamas que resultem no aumento da matéria seca podem representar economias significativas. Este é um aspeto a ter em consideração futuramente, atendendo a que se espera, nos próximos 2 anos, com a entrada em funcionamento das ETAR da Companheira e Faro/Olhão aumentar a produção de lamas em cerca de 45%.

Um dos aspetos que torna o procedimento mais dispendioso na região do Algarve prende-se com a falta de plataformas para tratamento deste produto na região do Algarve, de acordo os dados obtidos junto do grupo AdP a oferta de serviços respeitantes ao encaminhamento das lamas é tal como apresentado no Quadro 4.13.

Salienta-se o aspeto de no Algarve apenas estar disponível um centro de compostagem, contudo o processo pode obrigar a adicionar cerca de 50% de material estruturante (resíduos verdes), o que reduz a metade capacidade disponível para absorver lamas de ETAR.

Conforme se depreende pelo cruzamento dos dados do Quadro 4.13 com a produção de lamas na região, a oferta de serviços no Algarve é insuficiente (cerca de 5.000 t MO/ano), compelindo



a transportar as lamas para as regiões mais próximas de Lisboa/ Setúbal tornando o transporte num dos principais custos do processo de gestão das lamas.

*Quadro 4.13 - Disponibilidade de serviços para tratamento das lamas de ETAR*

Tipo de serviços por região	Número de Instalações	Capacidade (t/ano)
<b>Armazenamento de resíduos</b>	<b>8</b>	<b>826.000</b>
Algarve	0	-
Centro	3	145.000
Lisboa e Setúbal	4	561.000
Norte	1	120.000
<b>Compostagem</b>	<b>9</b>	<b>443.175</b>
Algarve	1	10.000
Centro	3	242.475
Lisboa e setúbal	4	184.000
Norte	1	6.700
<b>Total Geral</b>	<b>17</b>	<b>1.269.175</b>

Atendendo às grandes limitações em encontrar uma solução de proximidade e considerando que a produção de lamas na região vai aumentar, em virtude dos investimentos em curso nas ETAR da Companhia e Faro/Olhão, a solução de implementação de unidades de secagem solar nas ETAR com maiores produções de lamas ou em zonas próximas deve ser equacionada. Esta solução apresenta várias vantagens, desde logo na redução dos quantitativos a levar a destino final e na diversificação dos destinos finais disponíveis.

De entre as vantagens mais reconhecidas enumera-se:

- Redução significativa da humidade das lamas com teores finais em MS a rondar os 55-65%;
- Redução significativa da carga microbiológica das lamas;
- A redução do volume a transportar para valores superiores a 50%;
- Aumento da capacidade de armazenamento com flexibilidade na gestão do produto;
- Fonte de energia solar disponível com abundância em Portugal e em particular no Algarve;

- Mais opções e maior facilidade de levar destino final, como por exemplo colocação em agricultura direta, compostagem para produção de produtos de classe superior e valorização energética.

Dentro das desvantagens a considerar indica-se:

- Necessidade de investimento em terrenos com grandes áreas, caso não estejam disponíveis, e nas infraestruturas;
- Produção de odores em particular na receção de lamas pouco estabilizadas, obrigando à adoção de sistemas de desodorização que podem representar com custos operacionais significativos.

Para efeitos de uma análise de custo benefício e tomando como base algumas propostas para construção de infraestruturas deste tipo, apresenta-se no Quadro 4.14 uma análise geral técnica e estimativa do investimento.

Dois aspetos devem ser considerados, o primeiro refere-se à ausência de valores de operação e manutenção do sistema que podem dilatar o período de amortização apresentado. O segundo prende-se com o custo médio de deposição de lamas que em face da sua melhor qualidade à saída da secagem solar pode sofrer consideráveis reduções no preço unitário, reduzindo o tempo de amortização.

*Quadro 4.14 - Análise geral e estimativa de custos para construção de uma estufa.*

<b>Especificações</b>	<b>Montante</b>	<b>Unidade</b>
Quantidade inicial de lamas	7.800	t/ano
Quantidade inicial de MS	18	%
Quantidade final de lamas	2.340	t/ano
Quantidade final de MS	60	%
Redução de massa	5.460	t/ano
Área de secagem	4.800	m <sup>2</sup>
<b>Investimento</b>		
Custo de investimento	1.500.000	€
Custo adicional para desodorização	450.000	€
<b>Total</b>	<b>1.950.000</b>	<b>€</b>
Custo médio de deposição de lamas	36	€
Custo inicial de deposição de lamas	280.800	€
Custos de deposição após secagem solar	84.240	€
<b>Período de Amortização</b>	<b>10</b>	<b>Anos</b>

Outra questão a considerar relaciona-se com a virtuosidade do investimento, tratando-se de uma infraestrutura assente numa estratégia de sustentabilidade a médio e longo prazo, pode ser enquadrada em diferentes programas de apoio ao crescimento e sustentabilidade do investimento, tais como o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR) 2020 ou o Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR) ou ainda o Plano Estratégico dos Resíduos Urbanos (PERSU 2020), os quais podem reduzir o esforço da empresa no investimento e adoção de tais soluções.

Outro aspeto e considerando que a deposição de lamas após secagem solar pode reduzir o seu custo unitário de deposição para, por exemplo, cerca de 25 €/t MO (valor que tem em atenção a melhor qualidade do produto) o período de amortização do investimento na infraestrutura diminui para cerca de 8 anos e meio.

Conjugando estes fatores, faz sentido encarar a secagem solar das lamas e o potencial da solução para aumentar a MS das lamas com subseqüentes reduções no custo do encaminhamento e deposição em destino final.

## 5 APLICAÇÃO DE LAMAS DE ETAR NA AGRICULTURA DA REGIÃO

De acordo com (Maria José Vale *et al.*, 2014) a região do Algarve no ano de 2010 compreendia 499.607,98 ha (5,62% da área continental), onde o uso e ocupação do solo predominante são os terrentos incultos e a agricultura (Quadro 5.1). Analisando a tendência de ocupação da área entre 1980 e 2010, salienta-se a propensão para as áreas agrícolas decrescerem ao longo de todo o período e a expansão do solo artificializado.

Quadro 5.1 - Área por tipo de localização, utilização e cobertura do solo na Região do Algarve. Fonte: Direção-Geral do Território.

Utilização e cobertura do solo	1980		1995		2010	
	ha	%	ha	%	ha	%
Artificializados	15.169	3,0	18.593	3,7	28.431	5,7
Agrícolas	187.692	37,6	168.351	33,7	149.741	30,0
Agroflorestais	4.451	0,9	4.821	1,0	5.246	1,1
Florestas	104.401	20,9	106.703	21,4	127.418	25,5
Incultos	171.603	34,4	184.894	37,0	172.366	34,5
Zonas húmidas	5.295	1,1	5.232	1,1	5.270	1,1
Corpos de água	10.995	2,2	11.014	2,2	11.136	2,2
Total	499.606	100	499.608	100	499.608	100

## 5.1 ATIVIDADE AGRÍCOLA NA REGIÃO

O peso da agricultura algarvia situava-se no ano 2000 à volta dos 4.5% do Valor Acrescentado Bruto agrícola nacional, empregando cerca de 6.4% da população ativa da região. De acordo com a CCDR Algarve (Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, 2007b) alguns nichos vêm revelando um dinamismo interessante, mas continuam por concretizar as grandes potencialidades agrícolas da região.

Em termos de distribuição pela região (Figura 5.1), observa-se uma concentração das zonas agrícolas mais para o litoral e a zona de floresta e áreas naturais na zona interior e serra algarvia.

As atividades produtivas mais relevantes da região são citricultura, hortofloricultura, viticultura, pomar tradicional de sequeiro, pecuária e floresta (Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, 2007b). No Algarve 72% das explorações são especializadas em culturas permanentes, predominando a especialização em citrinos (17%), em frutos de casca rija (16%) e a produção combinada ou mista de citrinos, frutos tropicais e frutos de casca rija (24%) (Instituto Nacional de Estatística, 2011).

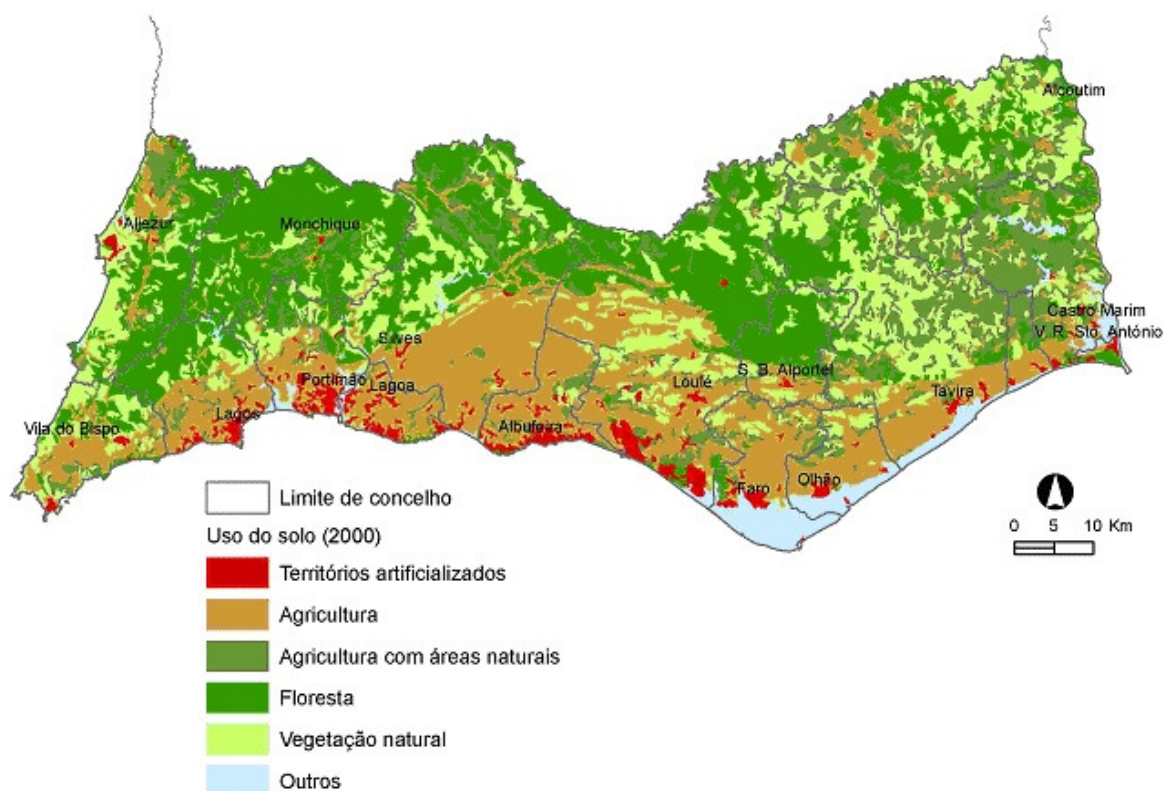


Figura 5.1- Uso do Solo da região do Algarve. Fonte: (Agência Portuguesa do Ambiente, 2016)

## 5.2 DISPONIBILIDADE DOS SOLOS PARA RECEBER LAMAS DE ETAR

A Diretiva Europeia 86/278/CEE do Conselho considera que as lamas têm propriedades agronómicas justificando-se incentivar a sua correta utilização e valorização agrícola. As lamas devem ser corretamente aplicadas por forma a evitar efeitos nocivos sobre os solos e ambiente, introduzindo o conceito de "lamas tratadas" como as lamas tratadas por via biológica, química ou térmica, por armazenagem a longo prazo ou por qualquer outro método adequado, de modo a reduzir, significativamente, o seu poder de fermentação e os inconvenientes sanitários da sua utilização incluindo os respetivos riscos para a saúde (Conselho da União Europeia, 1986).

Do ponto de vista agronómico as lamas de ETAR podem constituir uma alternativa aos adubos químicos para fertilização, ajudando a manter ou a recuperar a qualidade dos solos (Alvarenga *et al.*, 2015; Parlamento Europeu, 2008). No entanto as condicionantes e técnicas associadas à sua aplicação nos solos, efeitos potenciais de poluição por via dos metais pesados (Smith, 2009) e os incómodos associados a odores produzidos por lamas pouco estabilizadas, constituem fator dissuasor na sua aceitação junto dos agricultores (Orzi *et al.*, 2010).

Existem diversos aspetos limitantes, condicionantes, ou mesmo impeditivos para aplicação das lamas nos solos por questões técnicas ou legais, fatores que se prendam com a acidez dos solos, localização em zonas sensíveis ou vulneráveis, locais de grande inclinação, não são adequados para a prática de aplicação de lamas de depuração (Dias *et al.*, 2004).

A zona de vulnerabilidade e suscetibilidade a potenciais contaminações da área de aplicação das lamas de depuração tem de ser considerada. Um aspeto relevante prende-se com a localização de aquíferos e a sua possível contaminação. Refere-se a título de exemplo os nitratos, com grande solubilidade, são facilmente arrastados pelas águas das chuvas ou das regas. Não sendo um aspeto impeditivo, pode ser restritivo e limitante para determinadas características das lamas e quantidades a aplicar (Dias *et al.*, 2004).

A diretiva comunitária Diretiva 2008/98/EC impede a aplicação de lamas em solos com pH inferior a 5 (Parlamento Europeu, 2008).

Um aspeto não considerado mas que não será de negligenciar prende-se com a discussão da comunidade científica sobre o assunto e a necessidade de avaliar potenciais riscos (ambientais) neste tipo de prática, devido à ocorrência de substâncias tóxicas e persistentes em lamas, que se podem traduzir na contaminação do aquíferos, a acumulação de poluentes no solo e sua

transferência na cadeia alimentar (Verlicchi & Zambello, 2015). Receia-se os antibióticos possam ser disseminados em solos agrícolas causando resistência a agentes patogênicos. Por outro lado podemos estar a aumentar a resistência de microrganismos a resíduos de antibióticos afetando a comunidade microbiana natural do solo (Thiele-Bruhn, 2003).

#### 5.2.1 Disponibilidade dos solos

Tomando em consideração as condicionantes suprarreferidas, conclui-se que nem todos os solos da região reúnem as condições necessárias para receber lamas de depuração. Por exemplo a campina de Faro, onde se localizam dos solos mais produtivos da região, é considerada zona sensível no que respeita à contaminação do aquífero com nitratos de origem agrícola.

Outros aspetos a considerar para a integração de determinada parcela como potencialmente disponível para a utilização das lamas de depuração, prende-se com aspetos técnicos e logísticos, tais como existência de acessos compatíveis com o transporte das lamas, capacidade de colocar as lamas no local para aplicação e capacidade para proceder ao seu espalhamento e incorporação no terreno dentro do período previsto pela legislação (Agro.Ges & Águas do Algarve S.A., 2005b).

A dimensão das parcelas (Quadro 5.2) é fator determinante, será de esperar a existência de vantagens económicas e técnicas no recurso a parcelas de maiores dimensões, quer por via da rentabilização do transporte, quer por via da operacionalidade dos equipamentos de incorporação das lamas no solo. Parcelas de menores dimensões apenas serão interessantes quando nas proximidades da instalação produtora (Agro.Ges & Águas do Algarve S.A., 2005b).

O Anexo II do Decreto-lei 276/2009 obriga à realização de uma bateria de análise bastante complexa para a aplicação de lamas de ETAR nos solos, esta situação penaliza fortemente as explorações de minifúndio, dado que o tipo de análises a realizar é bastante complexo e dispendioso. Sendo necessário submeter à aprovação o Plano de Gestão de Lamas (PGL) para um período de 5 anos, o Decreto-lei obriga ainda a submeter anualmente a Declaração de Planeamento de Operações (DPO) à Direção Regional de Agricultura e Pescas (DRAP). Todo o processo se torna demasiado pesado e burocrático, de uma forma geral, economicamente acaba por ser mais vantajoso processar as lamas por compostagem em detrimento da aplicação direta no solo.

Quadro 5.2 - Dimensão das parcelas agrícolas da Região do Algarve, Continente e Portugal (2009). Fonte: Instituto Nacional de Estatística.

Período de referência dos dados	Localização geográfica (NUTS - 2001)	Classes de superfície agrícola utilizada					
		Total	0 - < 1 ha	1 ha - < 5 ha	5 ha - < 20 ha	20 ha - < 50 ha	>= 50 ha
		N.º	N.º	N.º	N.º	N.º	N.º
2009	Portugal	303.867	64.627	164.899	52.146	11.735	10.460
	Continente	276.776	46.160	160.902	49.311	10.356	10.047
	Algarve	12.347	2.164	6.433	2.962	577	211

O Decreto-Lei 276/2009 de 2 de Outubro, 2009 estabelece a necessidade de respeitar as quantidades, épocas e as técnicas mais adequadas para aplicação de lamas no solo. Assim para que as lamas possam ser todas absorvidas na região, existe a necessidade de procurar, ao longo do ano, diferentes áreas com diferentes culturas e diferentes rentabilidades, de forma a garantir o escoamento e a absorção de todas as lamas produzidas. Não obstante, o estudo da Agro.Ges & Águas do Algarve S.A., 2005a conclui que no Algarve existe um potencial de 280 milhares de hectares com características adequadas para receber lamas de ETAR. Sendo cerca de 100 mil hectares a áreas de solos onde essa aplicação teria um interesse classificado como médio a elevado, em função das características do solo e do tipo de agricultura praticado.

### 5.2.2 Fertilização

A aplicação de corretivos orgânicos ao solo, tais como estrumes e chorumes, constitui uma prática agrícola importante, para melhorar o seu teor de matéria orgânica e a sua fertilidade (Instituto Nacional de Estatística, 2011).

Dentro de gestão sustentável dos recursos, a recuperação da matéria orgânica e dos nutrientes azoto e fósforo, a partir de fluxos de resíduos humanos e agrícolas é cada vez mais relevante (Coppens *et al.*, 2014).

A fertilização dos solos implica conhecer a disponibilidade do solo em nutrientes, as necessidades das culturas, a forma correta de fertilização a altura correta para proceder à fertilização (Grupo de Trabalho Técnico para as Boas Práticas Agrícolas *et al.*, 1999).

O azoto é o principal dos nutrientes encontrando-se nas lamas na forma orgânica e na inorgânica que pode ser absorvida pelas plantas. A componente inorgânica do azoto pode-se encontrar na forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) ou amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), sendo esta última forma a que está presente em maior quantidade (Soveral Dias, 2004).

As plantas absorvem predominantemente a forma nítrica, esta forma é a que se move com maior facilidade no solo, inicialmente por fluxo de massa e posteriormente por difusão sendo de sendo de aplicação particularmente controlada em zonas sensíveis à contaminação de aquíferos (Guerrero, 2003). A idade da planta a temperatura e o pH do solo são outros fatores que parecem condicionar a forma de azoto absorvida (Wang *et al.*, 2015). No geral as plantas jovens absorvem melhor o  $\text{NH}_4^+$ , enquanto nas fases finais do ciclo a preferência ocorre pelo  $\text{NO}_3^-$  (Havlin *et al.*, 2014).

As necessidades de uma cultura em azoto poderá ser estimada pela quantidade total de azoto retirado do solo pela cultura, a qual depende, do nível de produção esperada (Dias *et al.*, 2004). Nos Anexos 2 e 3 apresentam-se os níveis de produção de algumas culturas e as quantidades médias de azoto removido do solo.

Algumas zonas de proteção especial têm programas de fertilização definidos, a *Portaria n.º 704/2001 de 11 de julho*, estabelece o programa de ação (onde inclui a fertilização das culturas) para a zona vulnerável da área de proteção do aquífero miocénico e jurássico da campina de Faro, correspondente a uma zona vulnerável que ocupa uma superfície total de 65,37 km<sup>2</sup>, entre as medidas estabelecidas para reduzir a poluição das águas causada ou induzida por nitratos de origem agrícola, é definida a quantidade máxima de N Quadro 5.3 a aplicar às culturas.

*Quadro 5.3 - Quantidades máximas de azoto, a aplicar nas culturas área de proteção da campina de Faro. Fonte: Portaria 704/2001*

Cultura	Espécie	Quantidade	Unidades
Citrinos	Até 2 anos	50	g de N/árvore/ano;
Citrinos	De 2 a 5 anos	200	g de N/árvore/ano;
Citrinos	De 5 a 10 anos	400	g de N/árvore/ano;
Citrinos	Mais de 10 anos Produção 40 t	430	g de N/árvore/ano;
Citrinos	Mais de 10 anos Produção > 60 t/ano	200	kg/ha/ano
Hortícolas (ar livre)	Batata	140	kg/ha/ano
Hortícolas (ar livre)	Couve-flor	150	kg/ha/ano
Hortícolas (ar livre)	Couve-repolho	170	kg/ha/ano
Hortícolas (ar livre)	Melancia	85	kg/ha/ano
Hortícolas (forçadas)	Alface	100	kg/ha/ano
Hortícolas (forçadas)	Feijão-verde	150	kg/ha/ano
Hortícolas (forçadas)	Melão	200	kg/ha/ano
Hortícolas (forçadas)	Morango	180	kg/ha/ano
Hortícolas (forçadas)	Pepino	180	kg/ha/ano
Hortícolas (forçadas)	Pimento	160	kg/ha/ano
Hortícolas (forçadas)	Tomate	200	kg/ha/ano



Se considerarmos a produção atual de lamas das ETAR do Algarve a produção de azoto proveniente das lamas de ETAR é de cerca de 1.447.079 kg N/ano (Quadro 5.4).

A área potencial disponível para aplicação das lamas de ETAR em solos com ocupação agrícola ou florestal teve em consideração:

- Áreas inferiores a 5 hectares têm pouco interesse e foram retiradas da área total dos solos agrícolas;
- Áreas de floresta com grandes inclinações ou ao abandono são pouco interessantes, optando-se por uma abordagem conservadora englobando só as zonas florestais referentes:
  - A Mata Nacional da Herdade da Parra em Silves, com uma área de 922 ha;
  - A Mata Nacional das Terras de Ordem em castro Marim, com 1366 ha.
  - Perímetro Florestal de Conceição de Tavira, com 453 ha;
  - Perímetro Florestal de Vila do Bispo, com 637 ha;
  - Perímetro Florestal de Barão de São João, concelho de Lagos, com 200 ha.
- As capacidades médias anuais recomendadas para dotação de azoto às culturas.

No caso particular da floresta, a área foi substancialmente reduzida dado que muitos dos terrenos para além de se apresentarem inacessíveis ao transporte, são em zona de serra e têm grandes inclinações. Outros encontram-se desordenados e com vastas áreas abandonadas. Assim não faria sentido considerar essas zonas como potenciais locais de colocação de lamas.

Calculando as capacidades máximas de absorção desse azoto pelas culturas no Quadro 5.4, verifica-se que existe capacidade para absorver as lamas de ETAR nos solos da região.

Entre às áreas disponíveis e necessárias para a colocação das lamas de ETAR verifica-se que atualmente poderiam ser colocadas nos solos 305.108 t MO/ano, considerando apenas as necessidades e restrições dos terrenos para a componente do azoto.

Estes dados significam que mesmo com a entrada das novas ETAR de Companhia e Faro/Olhão, com um incremento de mais de cerca de 14.000 t MO/ano, não se anteveem dificuldades de escoamento do produto.

Quadro 5.4- Análise geral para eventual de aplicação de lamas no solo tomando por base as necessidades de Azoto

<b>Lamas</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Unidades</b>
Lamas produzidas (média anual do triénio 2013-2013)	31.458	t MO/ano
Azoto Total das Lamas (média do triénio 2013-2013)	4,6	%
Total anual de azoto gerado pelas lamas	1.447.079	kg N/ano
<b>Solos Agrícolas - campina de Faro</b>		
Área potencial	6.537	hectares
Quantidade máxima de azoto permitida <sup>1</sup>	160	kg N/ha/ano
Capacidade máxima para receção de azoto	1.045.920	kg N/ano
Aplicação potencial de lamas	22.737	t MO/ano
<b>Solos Agrícolas</b>		
Área potencial	102.338	hectares
Quantidade média de azoto para culturas variadas <sup>2</sup>	119	kg N/ha/ano
Capacidade máxima para receção de azoto	12.178.222	kg N/ano
Aplicação potencial de lamas	264.744	t MO
<b>Solos Agroflorestais</b>		
Área potencial	5.246	hectares
Quantidade média de azoto para culturas agrícolas e florestais <sup>3</sup>	100	kg N/ha/ano
Capacidade máxima para receção de azoto	524.600	kg N/ano
Aplicação potencial de lamas	11.404	t MO
<b>Solos Florestais</b>		
Área potencial	3.578	hectares
Quantidade média de azoto <sup>4</sup>	80	kg N/ha/ano
Capacidade máxima para receção de azoto	286.240	kg N/ano
Aplicação potencial de lamas	6.223	t MO
<b>Potencial global para aplicação de lamas</b>	<b>305.108</b>	<b>t MO</b>

1 - Média dos valores constantes da Portaria 704/2001

2 - Média realizada para as culturas constantes do anexo 2

3 - Média de valores entre as culturas agrícolas e florestais

4 - Recomendação de fertilização para o eucalipto, valores médios. Fonte: Altri florestal

### 5.2.3 Toxicidade

De acordo com o Decreto-lei 276 de 2009, as quantidades de metais pesados introduzidos no solo por unidade de superfície, numa média de 10 anos, não podem ultrapassar os valores limite dos parâmetros fixados no quadro n.º 3 do anexo I do mesmo. Tomando em consideração essas

restrições no Quadro 5.5 é efetuado um exercício tomando por base os valores máximos de metais pesados do triénio, de forma a obter a quantidade máxima de lamas que poderia ser introduzido no solo.

Na definição das áreas potenciais, foram consideradas as mesmas restrições e limitações consideradas para o cálculo da disponibilidade dos solos aplicadas para o azoto. Como se pode verificar, as quantidades máximas de lamas que se poderiam aplicar nos solos, superam largamente a quantidade anual produzida na região.

*Quadro 5.5- Cálculo das quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidas nos solos cultivados, com base numa média de 10 anos*

Metais pesados	Valor limite na Matéria seca	Valor limite no solo	Concentração na lama (Máximo do triénio)	Quantidade máxima lama possível de aplicar no solo
	mg/kg	kg/ha/ano	mg/kg MS	t MS/ha/ano
<b>Cádmio</b>	20	0,15	7	21,4
<b>Cobre</b>	1.000	12	422	28,4
<b>Níquel</b>	300	3	57	52,4
<b>Chumbo</b>	750	15	120	125,0
<b>Zinco</b>	2.500	30	2.200	13,6
<b>Mercúrio</b>	16	0,1	7	14,3
<b>Crómio</b>	1.000	4,5	100	45,0
<i>Quantidade máxima lama possível de aplicar no solo calculada para o valor mais restritivo</i>				
<b>Matéria seca de referência</b>			20%	
<b>Quantidade máxima de lama possível de aplicar no solo</b>			<b>68,18</b>	<b>t MO/ha/ano</b>
<b>Solos Agrícolas</b>	102.338	hectares	6.977.591	t MO/ano
<b>Solos Agroflorestais</b>	5.246	hectares	357.682	t MO/ano
<b>Solos Florestais</b>	3.578	hectares	243.955	t MO/ano

## 6 LINHAS GERAIS DE GESTÃO

A política europeia assenta numa estratégia de fim do estatuto do resíduo e na redução da pegada de carbono, o que se traduz na necessidade de aproveitar os subprodutos das atividades industriais e encontrar localmente soluções de proximidade, que gerem valor acrescentado.

A gestão das lamas deve levar em conta os objetivos de redução, reutilização, reciclagem e valorização. A eliminação das lamas *per si* representa uma deseconomia de um recurso que pode ser reaproveitado.

A entidade gestora deve adotar as melhores práticas de operação e manutenção, reduzindo a produção de lamas e maximizando a eficiência dos processos. Sempre que possível, deve adotar as melhores soluções tecnológicas e económicas, assegurando a maximização dos proveitos, assentes na economia circular.

A alteração do paradigma dos resíduos para produtos deve ser acompanhada dos princípios da precaução e prevenção. Importa promover os ajustes tecnológicos e tratamentos complementares, que assegurem práticas adequadas e um produto final dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

Conforme verificado, as lamas das ETAR da AdA tem sido entregues a operadores licenciados que realizam essas operações. Contudo a AdA pode adotar práticas e tratamentos complementares, que lhe permitam reduzir a quantidade e melhorar a qualidade das lamas produzidas nas suas instalações, de forma a entregar um produto de qualidade superior e reduzir os encargos com essas prestações de serviços.

A distribuição das unidades de armazenamento e compostagem no contexto territorial deixaram a região do Algarve na periferia, com elevados custos de transporte. Algumas das indústrias que poderiam realizar a valorização das lamas apresentam uma cobertura nacional aliciante, contudo e para esse efeito, as lamas teriam de ser submetidas a processos de secagem adicionais que não estão instalados.

Em termos de produção de lamas dentro de cerca de 2 anos a AdA deverá ver um incremento entre 40 a 50% da quantidade de lamas que produz atualmente, com grande impacto no contexto regional e da empresa.

Tendo em consideração esse aumento de lamas, importa refletir nas linhas estratégicas que podem representar economias no médio prazo, nomeadamente apostando em tratamentos complementares que representem investimentos virtuosos, com amortização no médio prazo.

A otimização dos processos tendo em vista a redução de humidade das lamas é relevante, conseguir que a desidratação de lamas atinja os valores de sicidade teóricos representa um grande impacto nos custos de gestão. Contudo terá de ser acompanhada de uma análise integrada, para que a poupança numa determinada etapa não seja atingida por via de um custo superior em outras.

Aumento da capacidade de armazenamento das lamas é um aspeto fundamental para a entidade gestora:

- Maximiza os transportes reduzindo, quer os custos financeiros, quer os custos ambientais associados a um maior número de quilómetros percorridos por viaturas de menor capacidade e consumos similares;
- O verão é o período onde a produção de lamas é mais elevada, contudo as culturas que podem receber as lamas de depuração são as que apresentam menor rentabilidade económica nomeadamente, as culturas cerealíferas de sequeiro e de frutos secos (amendoeira) (Agro.Ges & Águas do Algarve S.A., 2005b);
- No período de outono/ inverno a aplicação é condicionada por restrições legais, com a proibição da aplicação das lamas nos solos no período de novembro a janeiro;
- Um armazenamento suficientemente dilatado permite a redução da quantidade e melhora as características das lamas.

A realização de investimentos em infraestruturas complementares que permitam alargar o leque de destinos finais a considerar, por via de um melhoramento das características do produto, pode dar à empresa gestora um potencial de negociação com os operadores que reduzam significativamente os custos associados.

As lamas como produto à saída de desidratação, enfrentam muitas condicionantes e restrições na sua valorização agrícola contudo, no caso de as lamas serem sujeitas a tratamento avançado com estabilização e higienização, caso não haja outros fatores limitantes, todos os tipos de culturas agrícolas passarão a ser compatíveis com a aplicação.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As lamas produzidas nas ETAR da AdA são originadas a partir do processo de tratamento biológico de águas residuais, normalmente arejamento prolongado, exceto na ETAR de Lagos em que o regime de funcionamento do arejamento é em média carga. Este tipo de estabilização dificulta a posterior desidratação das lamas, acabando por originar lamas com baixos teores de Matéria Seca e a produção final de lamas ser superior.

A AdA, à semelhança de grande parte das entidades gestoras de sistemas de saneamentos de águas residuais de Portugal, e mesmo na Europa, não dispõe de tratamentos avançados de estabilização e higienização de lamas o que compreende a posterior necessidade das lamas serem sujeitas a processos de estabilização por armazenamento e compostagem previamente à sua aplicação em agricultura. Atendendo à capacidade limitada deste tipo de serviços na região, esta solução revela-se onerosa por via da necessidade de transportar as lamas para a zona de Lisboa / Setúbal.

A situação pode vir a ser revertida com a adoção de soluções de tratamento complementares das lamas, apoiadas em estudos técnicos e económicos e o recurso a linhas de financiamento que demonstrem a virtuosidade do investimento, no fluxo da gestão de lamas.

Verifica-se a disponibilidade dos solos da região para absorver a totalidade das lamas produzidas nas ETAR. Não obstante seria necessário converter, localmente, as lamas no produto de valor acrescentado por via da estabilização e higienização do produto, bem como, de uma capacidade para armazenamento que permitisse gerir o escoamento em função das necessidades dos solos.

A secagem solar apresenta um enorme potencial para as lamas de ETAR, a obtenção de um produto com baixos teores de humidade, estabilizado e higienizado, permite não só considerar uma aplicação nos solos como também na indústria. A indústria de produção de cimentos implementada a nível regional é um potencial utilizador das lamas nos seus processos de combustão.

Nesse aspeto a região do Algarve apresenta uma localização e exposição privilegiada, os dados obtidos apontam para amortizações do investimento em períodos de cerca de 10 anos.

É fundamental que sejam adotadas soluções tecnológicas compatíveis com as opções de mercados mais favoráveis, em face dos aspetos ambientais, económicos e técnicos, garantindo o escoamento das lamas ao longo de todo o ano.

As soluções a adotar, por exemplo no caso da secagem solar, deverão estar localizadas desejavelmente na proximidade da instalação se possível dentro da própria ETAR, permitido que as lamas saiam da instalação completamente estabilizadas e com o menor impacto ambiental.

A considerar também nestes sistemas a necessidade de serem instalados sistemas de tratamentos de odores de forma a garantir a integração da solução com uma região muito assente no turismo, onde os maus odores podem ser fontes de conflito com entidades externas. Preferencialmente devem ser adotados sistemas de tratamento de ar por biofiltração, sem recurso a produtos químicos com elevados custos e riscos de manuseamento.

A avaliação e a promoção da reciclagem deste subproduto, com base no seu valor agronómico e nas boas práticas de gestão, contribuem para a implementação efetiva da economia circular, designadamente através da reciclagem de nutrientes.

Uma abordagem ao nível regional que concentre o tratamento e a reutilização das lamas localmente, permite reduzir significativamente os transportes e a pegada de carbono, o que permitirá gerir este subproduto de uma forma mais sustentável.

Este trabalho procurou analisar as vantagens de adotar tratamentos complementares para as lamas e promover o seu reaproveitamento na região de um ponto de vista económico. Em trabalhos futuros seria relevante considerar as vantagens ambientais, relacionadas com a redução da pegada de carbono, por via da redução do menor número de quilómetros e consequente redução no consumo dos combustíveis fósseis, realizados em todo o processo.

Outra questão a ter em conta para estudos futuros, é a crescente problemática dos poluentes emergentes cujos dados científicos atuais não permitem concluir sobre eventuais problemas decorrentes de uma utilização contínua e da sua acumulação no solo.

## 8 BIBLIOGRAFIA

- Adams, W. M. (2006). *The Future of Sustainability: Re-Thinking Environment and Development in the Twenty-First Century*. Cambridge. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/237797854\\_The\\_Future\\_of\\_Sustainability\\_Re-Thinking\\_Environment\\_and\\_Development\\_in\\_the\\_Twenty-First\\_Century](https://www.researchgate.net/publication/237797854_The_Future_of_Sustainability_Re-Thinking_Environment_and_Development_in_the_Twenty-First_Century)
- Agro.Ges, & Águas do Algarve S.A. (2005a). *Estudo do modelo de gestão de lamas de ETAR da Região do Algarve - Sumário executivo*.
- Agro.Ges, & Águas do Algarve S.A. (2005b). *Relatório Fase II – Caracterização da Procura Potencial de Lamas de ETAR nos solos agrícolas do Algarve*.
- Águas do Algarve, S.A. (2016). Retrieved January 23, 2016, from <http://www.aguasdoalgarve.pt/>
- Alvarenga, P., Mourinha, C., Farto, M., Santos, T., Palma, P., Sengo, J., ... Cunha-Queda, C. (2015). Sewage sludge, compost and other representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 40, 44–52. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.027>
- Bahar, S., & Ciggin, A. S. (2016). A simple kinetic modeling approach for aerobic stabilization of real waste activated sludge. *Chemical Engineering Journal*, 303, 194–201. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2016.05.149>
- Banegas, V., Moreno, J. L., Moreno, J. I., García, C., León, G., & Hernández, T. (2007). Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. *Waste Management*, 27(10), 1317–1327. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.09.008>
- Barlindhaug, J., & Ødegaard, H. (1996). Thermal hydrolysis for the production of carbon source for denitrification. *Water Science and Technology*, 34(1), 371–378. [http://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00526-4](http://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00526-4)
- Barzegar, A. R., Yousefi, A., & Daryashenas, A. (2002). The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil*, 247(2), 295–301. <http://doi.org/10.1023/A:1021561628045>
- Bennamoun, L. (2012). Solar drying of wastewater sludge: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 1061–1073. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2011.10.005>
- Béraud, P., Jorge, S., & Pires, F. (2015). Gestão de Lamas de ETAR. As oportunidades do início de uma nova era. In *Encontro Nacional de Entidades Gestoras de Água e Saneamento* (pp. 1–16). Alfândega do Porto.
- Bertanza, G., Papa, M., Canato, M., Collivignarelli, M. C., & Pedrazzani, R. (2014). How can sludge dewatering devices be assessed? Development of a new DSS and its application to real case studies. *Journal of Environmental Management*, 137, 86–92. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.002>
- Bianchini, A., Bonfiglioli, L., Pellegrini, M., & Saccani, C. (2015). Sewage sludge drying process integration with a waste-to-energy power plant. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 42, 159–65. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.020>
- Breitenbeck, G. A., & Schellinger, D. (2004). Calculating the Reduction in Material Mass And Volume during Composting. *Compost Science & Utilization*, 12(4), 365–371.



<http://doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702206>

- Cabrera, F., López Núñez, R., Martín Olmedo, P., & Murillo Carpio, J. M. (1997). Aprovechamiento agronómico de compost de alpechín.
- Carrington, E. G. (2001). *Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction*. (European Communities, Ed.). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Retrieved from <http://europa.eu.int/comm/environment/pubs/home.htm>
- Chai, L. H. (2007). Statistical dynamic features of sludge drying systems. *International Journal of Thermal Sciences*, 46(8), 802–811. <http://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2006.10.011>
- Chen, P., Xie, Q., Addy, M., Zhou, W., Liu, Y., Wang, Y., ... Ruan, R. (2016). Utilization of municipal solid and liquid wastes for bioenergy and bioproducts production. *Bioresource Technology*, 215, 163–172. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.094>
- Chen, Y., Yu, F., Liang, S., Wang, Z., Liu, Z., & Xiong, Y. (2014). Utilization of solar energy in sewage sludge composting: fertilizer effect and application. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 34(11), 2014–21. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.06.029>
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve. (2007a). *Indicadores de Desertificação no Algarve – Área Piloto de Combate à Desertificação* (Comissão d). Faro: Litografis Lda. <http://doi.org/264961/07>
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve. (2007b). *Plano Regional de Ordenamento do Território Algarve*. Retrieved from [http://www.prot.ccdr-alg.pt/Storage/pdfs/Volume\\_II\\_ANEXO\\_B.pdf](http://www.prot.ccdr-alg.pt/Storage/pdfs/Volume_II_ANEXO_B.pdf)
- Comissão Europeia. Decisão da Comissão 2000/532/CE de 3 de Maio, Pub. L. No. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 226, 6.9.2000 (2000). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu>
- Comissão Europeia. Decisão da Comissão 2001/119/CE de 22 de Janeiro, Pub. L. No. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 47 de 16.02.2001 (2001). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu>
- Comissão Europeia. (2015). Fechar o ciclo – plano de ação da UE para a economia circular. *Official Journal of the European Union*, COM(2015), 24. Retrieved from [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0007.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_1&format=PDF)
- Conselho da União Europeia. Directiva 86/278/CEE do Conselho de 12 de Junho de 1986 relativa à protecção do ambiente, e em especial dos solos, na utilização agrícola de lamas de depuração, Pub. L. No. Jornal Oficial nº L 181 de 04/07/1986 (1986). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu>
- Conselho da União Europeia. Directiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril, Pub. L. No. Jornal Oficial nº L 182 de 16.07.1999 (1999). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu>
- Conselho da União Europeia. Decisão do Conselho 2001/573/CE de 23 de Julho, Pub. L. No. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 203, 28.7.2001 (2001). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu>
- Conselho das comunidades europeias. Directiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1991, relativa ao tratamento de águas residuais urbanas, Jornal Oficial da União Europeia 40–52 (1991).

- Coppens, J., Decostere, B., Van Hulle, S., Nopens, I., Vlaeminck, S., De Gelder, L., & Boon, N. (2014). Biotechnological exploration of nitrate-accumulating microalgae for nutrient recovery from saline wastewaters. *IWA Specialist Conference on Global Challenges: Sustainable Wastewater Treatment and Resource Recovery*. International Water Association (IWA). Retrieved from <https://biblio.ugent.be/publication/6963690/file/6963692.pdf>
- Coppens, J., Meers, E., Boon, N., Buysse, J., & Vlaeminck, S. (2015a). The nitrogen and phosphorus balance of Flanders: a case study for efficient nutrient management. *Environmental Technology for Impact Conference 2015 (ETEI-2015): Recovery of Valuable Resources from Waste and Wastewater*. Retrieved from <https://biblio.ugent.be/publication/6960287>
- Coppens, J., Meers, E., Boon, N., Buysse, J., & Vlaeminck, S. (2015b). The nitrogen and phosphorus budget of Flanders: a tool for efficient resource management. *1st IWA Resource Recovery Conference (RR-2015): Bridging towards the Chemical Industry*. Retrieved from <https://biblio.ugent.be/publication/6960285/file/6963688.pdf>
- Cordell, D., Drangert, J.-O., & White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, 19(2), 292–305. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>
- Crites, R. W. (2010). *Natural Systems for Wastewater Treatment* (Third Edit). Alexandria: Water Environment Federation.
- Dai, J., Xu, M., Chen, J., Yang, X., & Ke, Z. (2007). PCDD/F, PAH and heavy metals in the sewage sludge from six wastewater treatment plants in Beijing, China. *Chemosphere*, 66(2), 353–61. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.04.072>
- Daliakopoulos, I. N., Tsanis, I. K., Koutroulis, A., Kourgialas, N. N., Varouchakis, A. E., Karatzas, G. P., & Ritsema, C. J. (2016). The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of The Total Environment*, 573, 727–739. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.177>
- Dantas, T. L. P., José, H. J., & Moreira, R. D. F. P. M. (2003). Oxidação em processos Fenton e Foto-Fenton em efluentes de curtumes. *Acta Scientiarum. Technology*, 25(1), 91–95. <http://doi.org/10.4025/actascitechnol.v25i1.2254>
- De la Cruz, N., Esquiús, L., Grandjean, D., Magnet, A., Tungler, A., de Alencastro, L. F., & Pulgarín, C. (2013). Degradation of emergent contaminants by UV, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and neutral photo-Fenton at pilot scale in a domestic wastewater treatment plant. *Water Research*, 47(15), 5836–45. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.005>
- Decreto-lei 127/2013, Pub. L. No. Diário da República n.º 167/2013, Série I de 2013-08-30 (2013). Retrieved from <https://dre.tretas.org/pdfs/2013/08/30/plain-311298.pdf>
- Decreto-lei 152/97, Pub. L. No. Diário da República n.º 139/1997, Série I-A de 1997-06-19 (1997). Retrieved from <https://dre.tretas.org/pdfs/1997/06/19/plain-82625.pdf>
- Decreto-Lei 276/2009, Pub. L. No. Diário da República n.º 192/2009, Série I de 2009-10-02 (2009). Lisboa. Retrieved from <https://dre.pt>
- Decreto-Lei 276/2009 de 2 de Outubro do Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Pub. L. No. Diário da República n.º 192/2009, Série I de 2009-10-02 (2009). Lisboa. Retrieved from <https://dre.pt>

- Decreto-lei n.º 103/2015 de 15 de junho do Ministério da Economia, Pub. L. No. Diário da República n.º 114/2015, Série I de 2015-06-15 (2015). Lisboa. Retrieved from [www.dre.pt](http://www.dre.pt)
- Decreto-Lei n.º 167/2000 de 5 de agosto do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Pub. L. No. Diário da República - 1.ª Serie-A, Nº 180, de 2000-08-05 (2000). Retrieved from <https://dre.pt>
- Decreto-Lei n.º 172-B/2001 de 26 de Maio do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Pub. L. No. Diário da República - 1.ª Serie A, Nº 122-Supl, de 2001-05-26 (2001). Retrieved from <https://dre.pt>
- Decreto-Lei n.º 178/2006, Pub. L. No. Diário da República n.º 171/2006, Série I de 2006-09-05. (2006). Retrieved from <https://dre.tretas.org/pdfs/2006/09/05/plain-201398.pdf>
- Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto do Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Pub. L. No. Diário da República n.º 153/2009, Série I de 2009-08-10 (2009). Lisboa. Retrieved from <https://dre.pt>
- Decreto-Lei n.º 235/97, Pub. L. No. Diário da República n.º 203/1997, Série I-A de 1997-09-03 (1997). Retrieved from <https://dre.tretas.org/pdfs/1997/09/03/plain-85481.pdf>
- Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Pub. L. No. Diário da República n.º 116/2011, Série I de 2011-06-17 (2011). Lisboa. Retrieved from <https://dre.pt>
- DGADR. (2009). JORNADA SOBRE PROTECÇÃO DO SOLO - Resumo das conclusões, (Junho 2011). Retrieved from [http://www.spcs.pt/Jornada\\_Protec\\_Solo.pdf](http://www.spcs.pt/Jornada_Protec_Solo.pdf)
- Dias, J. C. S., Rebelo, L. Q., & Silva, D. A. (2004). Código De Boas Práticas Agrícolas. *Lisboa: Reciclamas*, 53.
- European Commission. (2016). *Sewage sludge production and disposal*. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00030&plugin=1>
- European Commission. (2001). *Organic Contaminants in Sewage Sludge for Agricultural Use*.
- European Commission. (2010a). *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land Final Report Part I: Overview Report*.
- European Commission. (2010b). *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land Final Report Part II: Report on Options and Impacts*. Brussels.
- European Commission. (2010c). *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land Final Report Part III: Project Interim Reports*.
- European Commission. (2014). *Critical Raw Materials - European Commission*. Retrieved from [http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en)
- European Commission. (2015). Sewage sludge - Waste - Environment - European Commission. Retrieved January 8, 2016, from <http://ec.europa.eu>
- European Environment Agency (EEA). (2013). *Urban waste water treatment — European Environment Agency*. Copenhagen. Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/urban-waste-water-treatment/urban-waste-water-treatment-assessment-3>

- European Fertilizer Manufacturers Association. (2000). *Phosphorus: Essential Element for Food Production*. Brussels. Retrieved from <http://www.sswm.info/library/3575>
- Fang, W., Delapp, R. C., Kosson, D. S., van der Sloot, H. A., & Liu, J. (2017). Release of heavy metals during long-term land application of sewage sludge compost: Percolation leaching tests with repeated additions of compost. *Chemosphere*, 169, 271–280. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.086>
- Fernández-Getino, A. P., & Duarte, A. C. (2015). Soil management guidelines in Spain and Portugal related to EU Soil Protection Strategy based on analysis of soil databases. *CATENA*, 126, 146–154. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2014.11.003>
- Foladori, P., Andreottola, G., & Ziglio, G. (2010). *Sludge reduction technologies in wastewater treatment plants*. London: IWA publishing.
- Gao, J., & Tian, M. (2015). Analysis of over-consumption of natural resources and the ecological trade deficit in China based on ecological footprints. *Ecological Indicators*, 61, 899–904. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.044>
- Garrido-Baserba, M., Molinos-Senante, M., Abelleira-Pereira, J. M., Fdez-Güelfo, L. A., Poch, M., & Hernández-Sancho, F. (2014). Selecting sewage sludge treatment alternatives in modern wastewater treatment plants using environmental decision support systems. *Journal of Cleaner Production*, 107, 410–419. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.021>
- Geissen, V., Wang, S., Oostindie, K., Huerta, E., Zwart, K. B., Smit, A., ... Moore, D. (2013). Effects of topsoil removal as a nature management technique on soil functions. *CATENA*, 101, 50–55. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2012.10.002>
- Golueke, C. G. (1991). *The BioCycle guide to the art & science of composting*. (Biocycle, Ed.) (First Edit). JG Press.
- Grupo de Trabalho Técnico para as Boas Práticas Agrícolas, M., Auditor de Ambiente (Coordenação), INIA, I. e D., (INIA), C. C. D. F. C., & Ambiente, O. A. de. (1999). *Manual Básico de Práticas Agrícolas - Conservação do solo e da água*. (INGA - Instituto Nacional de Intervenção das Culturas, Ed.). Equipe - Design e Publicidade, Lda.
- Guerrero, C. A. C. (2003). *Estratégias de Controlo da Poluição das Águas Subterrâneas pelos Nitratos de Origem Agrícola*. UNIVERSIDADE DO ALGARVE.
- Guerrini, I. A., Croce, C. G. G., Bueno, O. de C., Jacon, C. P. R. P., Nogueira, T. A. R., Fernandes, D. M., ... Capra, G. F. (2017). Composted sewage sludge and steel mill slag as potential amendments for urban soils involved in afforestation programs. *Urban Forestry & Urban Greening*, 22, 93–104. <http://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.015>
- Gutiñas, M. E., Leirós, M. C., Trasar-Cepeda, C., & Gil-Sotres, F. (2012). Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: A laboratory study. *European Journal of Soil Biology*, 48, 73–80. <http://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.07.015>
- Guo, M., Hu, H., & Liu, W. (2009). Preliminary investigation on safety of post-UV disinfection of wastewater: bio-stability in laboratory-scale simulated reuse water pipelines. *Desalination*, 239(1-3), 22–28. <http://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.003>
- Havlin, J., Tisdale, S., Nelson, W., & Beaton, J. (2014). *Soil Fertility and Fertilizers - An introduction to nutrient Management* (8th ed.). New York: Prentice Hall, Inc. Retrieved

from

[http://www.cenicana.org/investigacion/seica/Compliadolibros2015/Soil\\_fertility\\_fertilizers.pdf](http://www.cenicana.org/investigacion/seica/Compliadolibros2015/Soil_fertility_fertilizers.pdf)

- Hernández, T. (2002). Nitrogen mineralisation potential in calcareous soils amended with sewage sludge. *Bioresource Technology*, 83(3), 213–219. [http://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00224-3](http://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00224-3)
- Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., & Kennedy, C. (2014). Peak Waste: When Is It Likely to Occur? *Journal of Industrial Ecology*, 19(1), 117–128. <http://doi.org/10.1111/jiec.12165>
- Huber, M. M., Göbel, A., Joss, A., Hermann, N., Löffler, D., McArdell, C. S., ... von Gunten, U. (2005). Oxidation of Pharmaceuticals during Ozonation of Municipal Wastewater Effluents: A Pilot Study. *Environmental Science & Technology*, 39(11), 4290–4299. <http://doi.org/10.1021/es048396s>
- Hukari, S., Hermann, L., & Nättorp, A. (2015). From wastewater to fertilisers - Technical overview and critical review of European legislation governing phosphorus recycling. *The Science of the Total Environment*, 542, 1127–1135. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.064>
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas I.P. (2006). *Plano Regional de Ordenamento Florestal do Algarve - PROF Algarve*.
- Instituto Nacional de Estatística, I. . (2011). *Recenciamiento Agrícola 2009*. (I. . Instituto Nacional de Estatística, Ed.). Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P.
- Jemali A, Soudi B, & Berdai H. (1998). Valorisation agricole des boues résiduaires: Valeur fertilisante et leur Impact sur les sols. In In Proceeding of 13th International Congress on Agricultural Engineering. Vol (Ed.), *Vol I: Land and Water Use*. Rabat, Maroc.
- Keeling, A. A., Griffiths, B. S., Ritz, K., & Myers, M. (1995). Effects of compost stability on plant growth, microbiological parameters and nitrogen availability in media containing mixed garden-waste compost. *Bioresource Technology*, 54(3), 279–284. [http://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00138-7](http://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00138-7)
- Kelessidis, A., & Stasinakis, A. S. (2012). Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management*, 32(6), 1186–1195. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.012>
- Kulikowska, D. (2016). Kinetics of organic matter removal and humification progress during sewage sludge composting. *Waste Management (New York, N.Y.)*. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.005>
- Kurt, M., Aksoy, A., & Sanin, F. D. (2015). Evaluation of solar sludge drying alternatives by costs and area requirements. *Water Research*, 82, 47–57. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.043>
- Labrecque, M., Teodorescu, T. I., & Daigle, S. (1998). Early performance and nutrition of two willow species in short-rotation intensive culture fertilized with wastewater sludge and impact on the soil characteristics. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(11), 1621–1635. <http://doi.org/10.1139/x98-142>
- Larchevêque, M., Baldy, V., Montès, N., Fernandez, C., Bonin, G., & Ballini, C. (2006). Short-term Effects of Sewage-Sludge Compost on a Degraded Mediterranean Soil. *Soil Science*

- Society of America Journal*, 70(4), 1178. <http://doi.org/10.2136/sssaj2005.0115>
- Li, Q., Li, J., Cui, X., Wei, D., & Ma, Y. (2012). On-Farm Assessment of Biosolids Effects on Nitrogen and Phosphorus Accumulation in Soils. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(9), 1545–1554. [http://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60155-5](http://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60155-5)
- Liu, X. T., Sheng, Z. F., & Wang, Y. L. (2011). Study on Tourism Ecological Footprint of Loudi City in Hunan “3+5” Urban Agglomeration. *Applied Mechanics and Materials*, 55-57, 1566–1571. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.55-57.1566>
- Lloret, E., Pastor, L., Martínez-Medina, A., Blaya, J., & Pascual, J. A. (2012). Evaluation of the removal of pathogens included in the Proposal for a European Directive on spreading of sludge on land during autothermal thermophilic aerobic digestion (ATAD). *Chemical Engineering Journal*, 198-199, 171–179. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2012.05.068>
- Lloret, E., Pastor, L., Pradas, P., & Pascual, J. A. (2013). Semi full-scale thermophilic anaerobic digestion (TAnD) for advanced treatment of sewage sludge: Stabilization process and pathogen reduction. *Chemical Engineering Journal*, 232, 42–50. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2013.07.062>
- Lyonnaise des eaux. (1994). *Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement. tome 2, Assainissement urbain*. Paris: Technique et Documentation Lavoisier.
- Mailler, R., Gasperi, J., Chebbo, G., & Rocher, V. (2014). Priority and emerging pollutants in sewage sludge and fate during sludge treatment. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 34(7), 1217–26. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.028>
- Mani, S., Sundaram, J., & Das, K. C. (2016). Process simulation and modeling: Anaerobic digestion of complex organic matter. *Biomass and Bioenergy*, 93, 158–167. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.07.018>
- Maria José Vale (coord.). (2014). *Uso e Ocupação do Solo em Portugal Continental: Avaliação e Cenários Futuros*. (D.-G. do T. (DGT), Ed.) *Projeto LANDYN*. Lisboa. Retrieved from [http://www.dgterritorio.pt/static/repository/2015-01/2015-01-29115800\\_54ab20bb-0b19-4b78-b3b7-038c54e07421\\$\\$466C622B-84E8-4957-B11E-25B916C851FB\\$\\$A483D82F-A1DE-40D3-916E-CE72268E2CC3\\$\\$File\\$\\$pt\\$\\$1.pdf](http://www.dgterritorio.pt/static/repository/2015-01/2015-01-29115800_54ab20bb-0b19-4b78-b3b7-038c54e07421$$466C622B-84E8-4957-B11E-25B916C851FB$$A483D82F-A1DE-40D3-916E-CE72268E2CC3$$File$$pt$$1.pdf)
- Martins, A., Madeira, C., Carvalho, M., & Freire, J. (2005). Caracterização da produção de Lamas de ETAR Urbana na Região do Algarve. In *Encontro Nacional de Entidades Gestoras de Águas e Saneamento* (pp. 1–10). Centro de Congressos de Lisboa.
- Mathioudakis, V. L., Kapagiannidis, A. G., Athanasoulia, E., Paltzoglou, A. D., Melidis, P., & Aivasidis, A. (2013). Sewage Sludge Solar Drying: Experiences from the First Pilot-Scale Application in Greece. *Drying Technology*, 31(5), 519–526. <http://doi.org/10.1080/07373937.2012.744998>
- Méndez, A., Gómez, A., Paz-Ferreiro, J., & Gascó, G. (2012). Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere*, 89(11), 1354–9. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.092>
- Mes, T. Z. D. de, Stams, A. J. M., & Zeeman, G. (2003). Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes. In J. H. REITH, R. H. WIJFFELS, & H. BARTEN (Eds.), *Biomethane and Biohydrogen. Status and perspectives of biological methane and hydrogen production*. (pp. 58–94). Petten: Netherlands Agency for Energy

- and the Environment. Retrieved from [http://www.sswm.info/library?search\\_term=anaerobic](http://www.sswm.info/library?search_term=anaerobic)
- Michael, I., Rizzo, L., McArdell, C. S., Manaia, C. M., Merlin, C., Schwartz, T., ... Fatta-Kassinos, D. (2013). Urban wastewater treatment plants as hotspots for the release of antibiotics in the environment: a review. *Water Research*, 47(3), 957–95. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2012.11.027>
- Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Decreto-Lei 178/2006, de 5 de setembro, Pub. L. No. Decreto-Lei n.º 178/2006 D.R. n.º 171, Série I de 2006-09-05 (2006). Retrieved from <https://dre.pt/application/file/539951>
- Moreira, F. C., Soler, J., Alpendurada, M. F., Boaventura, R. A. R., Brillas, E., & Vilar, V. J. P. (2016). Tertiary treatment of a municipal wastewater toward pharmaceuticals removal by chemical and electrochemical advanced oxidation processes. *Water Research*. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2016.08.036>
- Mowla, D., Tran, H. N., & Allen, D. G. (2013). A review of the properties of biosludge and its relevance to enhanced dewatering processes. *Biomass and Bioenergy*, 58, 365–378. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.09.002>
- Murakami, T., Suzuki, Y., Nagasawa, H., Yamamoto, T., Koseki, T., Hirose, H., & Okamoto, S. (2009). Combustion characteristics of sewage sludge in an incineration plant for energy recovery. *Fuel Processing Technology*, 90(6), 778–783. <http://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.03.003>
- Navarro, F. M. (2013). *Lodos de depuradora: una visión integral para su posible aplicación a suelos desde una perspectiva agrícola. Proyecto de investigación*: Universidad de Murcia. Retrieved from <http://digitum.um.es/jspui/handle/10201/37493>
- NZWWA. (2003). , *Guidelines for the Safe Application of Biosolids to Land in New Zealand*. Wellington. Retrieved from [https://www.waternz.org.nz/Folder?Action=ViewFile&Folder\\_id=101&File=biosolids\\_guidelines.pdf](https://www.waternz.org.nz/Folder?Action=ViewFile&Folder_id=101&File=biosolids_guidelines.pdf)
- O'Connor, G. A. (1996). Organic compounds in sludge-amended soils and their potential for uptake by crop plants. *The Science of the Total Environment*, 185(1-3), 71–81. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8643961>
- Ogbazghi, Z. M., Tesfamariam, E. H., & Annandale, J. G. (2016). Modelling N mineralisation from sludge-amended soils across agro-ecological zones: A case study from South Africa. *Ecological Modelling*, 322, 19–30. <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.11.019>
- Ögleni, N., & Özdemir, S. (2010). Pathogen reduction effects of solar drying and soil application in sewage sludge. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34(6):509–515. <http://doi.org/10.3906>
- Orzi, V., Cadena, E., D'Imporzano, G., Artola, A., Davoli, E., Crivelli, M., & Adani, F. (2010). Potential odour emission measurement in organic fraction of municipal solid waste during anaerobic digestion: Relationship with process and biological stability parameters. *Bioresource Technology*, 101(19), 7330–7337. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.098>
- Özdemir, S., Çokgör, E. U., & Orhon, D. (2014). Modeling the fate of particulate components in aerobic sludge stabilization--performance limitations. *Bioresource Technology*, 164, 315–22. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.012>

- Pajak, T. (2013). Thermal Treatment. *Environment Protection Engineering*, 39(2), 41–53. <http://doi.org/10.5277/EPE130205>
- Parlamento Europeu, C. da U. E. Directiva 2006/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, Pub. L. No. Jornal Oficial da União Europeia L 114, 27.4.2006, p. 9–21 (2006). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu>
- Parlamento Europeu, C. da U. E. Directiva 2008/98/EC do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 Novembro, Pub. L. No. Jornal Oficial da União Europeia n.º 312 de 22.11.2008 (2008). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu>
- Parlamento Europeu, & Conselho da União Europeia. Directiva 2000/76/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro, Pub. L. No. Jornal Oficial das Comunidades Europeias n.º L 332, 28.12.2000 (2000). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu>
- Parlamento Europeu, & Conselho da União Europeia. Directiva 2010/75/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, Pub. L. No. Jornal Oficial da União Europeia n.º L 334, 17.12.2010 (2010). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu>
- Pavlík, Z., Fořt, J., Záleská, M., Pavlíková, M., Trník, A., Medved, I., ... Černý, R. (2015). Energy-efficient thermal treatment of sewage sludge for its application in blended cements. *Journal of Cleaner Production*, 112, 409–419. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.072>
- Peters, T. (2010). Membrane Technology for Water Treatment. *Chemical Engineering & Technology*, 33(8), 1233–1240. <http://doi.org/10.1002/ceat.201000139>
- Peyton, D. P., Healy, M. G., Fleming, G. T. A., Grant, J., Wall, D., Morrison, L., ... Fenton, O. (2016). Nutrient, metal and microbial loss in surface runoff following treated sludge and dairy cattle slurry application to an Irish grassland soil. *The Science of the Total Environment*, 541, 218–29. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.053>
- Piro, P., Carbone, M., Penna, N., & Marsalek, J. (2011). Characterization of the settling process for wastewater from a combined sewer system. *Water Research*, 45(20), 6615–24. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2011.09.034>
- Portaria n.º 1023/2006 de 20 de setembro do Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Pub. L. No. Diário da República n.º 182/2006, Série I de 2006-09-20 (2006). Lisboa. Retrieved from <https://dre.pt>
- Portaria n.º 187-A/2014 de 17 de setembro do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Pub. L. No. Diário da República n.º 179/2014, 1º Suplemento, Série I de 2014-09-17 - DRE (2014). Retrieved from <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/56928479/details/normal?q=portaria+187-A%2F2014>
- Portaria N.º 209/2004 de 3 de Março do Ministério da Economia, Ministério da Agricultura Desenvolvimento Rural e Pescas, Ministério das Cidades Ordenamento do Território e Ambiente e Ministério da Saúde, Pub. L. No. Diário da República: I Série-B, N.º 53 de 2004-03-03 (2004). Lisboa. Retrieved from <https://dre.pt>
- Portaria n.º 335/97 de 16 de Maio do Ministérios da Administração Interna, do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território, da Saúde e do Ambiente, Pub. L. No. Diário da República n.º 113/1997, Série I-B de 1997-05-16 - DRE (1997). Lisboa. Retrieved from <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/396748/details/normal?q=portaria+335%2F97>



- Portaria n.º 704/2001 de 11 de julho do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Pub. L. No. Diário da República n.º 159/2001, Série I-B de 2001-07-11 - DRE (2001). Retrieved from <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/399188/details/normal?q=portaria+704%2F2001>
- Pradel, M., Aissani, L., Villot, J., Baudez, J.-C., & Laforest, V. (2016). From waste to added value product: towards a paradigm shift in life cycle assessment applied to wastewater sludge – a review. *Journal of Cleaner Production*, 131, 60–75. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.076>
- Qi, Y., Szendrak, D., Yuen, R. T. W., Hoadley, A. F. A., & Mudd, G. (2011). Application of sludge dewatered products to soil and its effects on the leaching behaviour of heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 166(2), 586–595. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2010.11.029>
- Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1017–1023. <http://doi.org/10.1093/jxb/erj108>
- Saveyn, H., & Eder, P. (2014). *End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals*. (European Commission & Joint Research Centre, Eds.). Seville. <http://doi.org/10.2791/6295>
- Scholz, R. W., Ulrich, A. E., Eilittä, M., & Roy, A. (2013). Sustainable use of phosphorus: a finite resource. *The Science of the Total Environment*, 461-462, 799–803. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.043>
- Scholz, R. W., & Wellmer, F.-W. (2013). Approaching a dynamic view on the availability of mineral resources: What we may learn from the case of phosphorus? *Global Environmental Change*, 23(1), 11–27. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.013>
- Science Communication Unit, & University of the West of England, B. (2013). *Science for Environment Policy In- depth Report: Sustainable Phosphorus Use*. Retrieved from <http://ec.europa.eu/science-environment-policy>
- Seggiani, M., Puccini, M., Raggio, G., & Vitolo, S. (2012). Effect of sewage sludge content on gas quality and solid residues produced by cogasification in an updraft gasifier. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 32(10), 1826–34. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.04.018>
- Sidhu, J. P. S., & Toze, S. G. (2009). Human pathogens and their indicators in biosolids: A literature review. *Environment International*, 35(1), 187–201. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2008.07.006>
- Smith, S. R. (2009). A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*, 35(1), 142–56. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2008.06.009>
- Soveral Dias, J. C. (2004). *Guia de boas práticas: Aplicação de lamas na agricultura*. Lisboa: Reciclamos. Retrieved from <http://www.drapn.min-agricultura.pt/drapn/conteudos/zv/codigobpa.pdf>
- Speir, T. W., van Schaik, A. P., Lloyd-Jones, A. R., & Kettles, H. A. (2003). Temporal response of soil biochemical properties in a pastoral soil after cultivation following high application rates of undigested sewage sludge. *Biology and Fertility of Soils*, 38(6), 377–385. <http://doi.org/10.1007/s00374-003-0656-8>

- Spinosa, L., Ayol, A., Baudez, J.-C., Canziani, R., Jenicek, P., Leonard, A., ... Van Dijk, L. (2011). Sustainable and Innovative Solutions for Sewage Sludge Management. *Water*, 3(4), 702–717. <http://doi.org/10.3390/w3020702>
- Sun, Y., Chen, Z., Wu, G., Wu, Q., Zhang, F., Niu, Z., & Hu, H.-Y. (2016). Characteristics of water quality of municipal wastewater treatment plants in China: implications for resources utilization and management. *Journal of Cleaner Production*, 131, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.068>
- Syed-Hassan, S. S. A., Wang, Y., Hu, S., Su, S., & Xiang, J. (2017). Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: Fundamentals, challenges and considerations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 888–913. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.262>
- Tarrasón, D., Ojeda, G., Ortiz, O., & Alcañiz, J. M. (2010). Effects of Different Types of Sludge on Soil Microbial Properties: A Field Experiment on Degraded Mediterranean Soils. *Pedosphere*, 20(6), 681–691. [http://doi.org/10.1016/S1002-0160\(10\)60058-6](http://doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60058-6)
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. (METCALF & EDDY, Ed.) (Fourth). Boston: McGraw-Hill.
- Thiele-Bruhn, S. (2003). Pharmaceutical antibiotic compounds in soils - a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166(2), 145–167. <http://doi.org/10.1002/jpln.200390023>
- Tomei, M. C., Bertanza, G., Canato, M., Heimersson, S., Laera, G., & Svanström, M. (2016). Techno-economic and environmental assessment of upgrading alternatives for sludge stabilization in municipal wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3106–3115. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.017>
- Uggetti, E., Ferrer, I., Llorens, E., & García, J. (2010). Sludge treatment wetlands: a review on the state of the art. *Bioresource Technology*, 101(9), 2905–12. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.102>
- UNESCO. (2015). Water for a Sustainable World. The United Nations World Water Development Report 2015. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002321/232179E.pdf>
- United Nations. (2014). *World Urbanization Prospects, the 2014 Revision*. New York. Retrieved from <http://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>
- US EPA. A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule (1994). Wasington D.C. Retrieved from <https://www.epa.gov/biosolids/plain-english-guide-epa-part-503-biosolids-rule>
- US EPA. Wastewater Technology Fact Sheet Chlorine Disinfection (1999). Wasington D.C.: EPA 832-F-99-062 United States Environmental Protection Agency. Retrieved from <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/chlo.pdf>
- US EPA. Alkaline Stabilization of Biosolids (2000). Washington, D.C.: EPA 832-F-00-052. United States Environmental Protection Agency. Retrieved from <https://www.epa.gov/biosolids/alkaline-stabilization-biosolids>
- US EPA. Use of Composting for Biosolids Management (2002). Washington, D.C.: EPA/832-F-02-024. United States Environmental Protection Agency. Retrieved from <https://www.epa.gov/biosolids/use-composting-biosolids-management>

- US EPA. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (2003). Washington, D.C.: EPA/625/R-92/013. United States Environmental Protection Agency. Retrieved from <https://www.epa.gov/biosolids/control-pathogens-and-vector-attraction-sewage-sludge>
- Vega, E., Monclús, H., Gonzalez-Olmos, R., & Martin, M. J. (2015). Optimizing chemical conditioning for odour removal of undigested sewage sludge in drying processes. *Journal of Environmental Management*, 150, 111–9. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.012>
- Verlicchi, P., Al Aukidy, M., & Zambello, E. (2012). Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment--a review. *The Science of the Total Environment*, 429, 123–55. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.028>
- Verlicchi, P., & Zambello, E. (2015). Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge: Occurrence and environmental risk in the case of application on soil? A critical review. *Science of The Total Environment*, 538, 750–767. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.108>
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human Domination of Earth Ecosystems (Vol 277, Pg 494, 1997). *Science*, 278(5335), 21. Retrieved from <http://www.cheric.org/research/tech/periodicals/view.php?seq=257860>
- von Sperling, M., Gonçalves, R. F., Andreoli, C. V., Lopes, D. D., Morita, D. M., Pegorini, E. S., ... Soccol, V. T. (2007). *Sludge Treatment and Disposal*. (M. von Sperling, C. V. Andreoli, & F. Fernandes, Eds.) IWA Publishing. London. Retrieved from <http://www.iwapublishing.com/books/9781843391661/sludge-treatment-and-disposal>
- Wakeman, R. J. (2007). Separation technologies for sludge dewatering. *Journal of Hazardous Materials*, 144(3), 614–9. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.084>
- Wang, Y., Xiao, Q., Zhong, H., Zheng, X., & Wei, Y. (2016). Effect of organic matter on phosphorus recovery from sewage sludge subjected to microwave hybrid pretreatment. *Journal of Environmental Sciences*, 39, 29–36. <http://doi.org/10.1016/j.jes.2015.10.008>
- Wang, Z., Miao, Y., & Li, S. (2015). Effect of ammonium and nitrate nitrogen fertilizers on wheat yield in relation to accumulated nitrate at different depths of soil in drylands of China. *Field Crops Research*, 183, 211–224. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.019>
- Weber, T. J. (1999). Wastewater treatment. *Metal Finishing*, 97(1), 801–822. [http://doi.org/10.1016/S0026-0576\(99\)80075-0](http://doi.org/10.1016/S0026-0576(99)80075-0)
- Zaman, A. U. (2016). A comprehensive study of the environmental and economic benefits of resource recovery from global waste management systems. *Journal of Cleaner Production*, 124, 41–50. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.086>
- Zero Waste International Alliance. (2009). ZW Definition | Zero Waste International Alliance. Retrieved May 6, 2016, from <http://zwia.org/standards/zw-definition/>
- Zhang, Z., Zhou, Y., Zhang, J., Xia, S., & Hermanowicz, S. W. (2016). Effects of short-time aerobic digestion on extracellular polymeric substances and sludge features of waste activated sludge. *Chemical Engineering Journal*, 299, 177–183. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.047>

- Zhao, X., Li, B., Ni, J., & Xie, D. (2016). Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(1), 232–240. [http://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60954-0](http://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60954-0)
- Zhu, H., Zhang, L., Wen, X., & Huang, X. (2012). Feasibility of applying forward osmosis to the simultaneous thickening, digestion, and direct dewatering of waste activated sludge. *Bioresource Technology*, 113, 207–13. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.12.064>

## **9 ANEXOS**

## Anexo 1 – Lista das ETAR da AdA

Sistema Multimunicipal de Saneamento do Algarve - Listagem das ETAR existentes e previstas: ponto de situação em 2016

Zona	Designação	Município	Capacidade tratamento (hab. eq.)	Principais localidades servidas	População prevista servir ( hab.)				Intervenção prevista na ETAR	Tratamento fase líquida		Tratamento fase sólida			Obs.
					2006 (EB)	2006 (EA)	2025 (EB)	2025 (EA)		Tipo	Nível	Estabilização	Desidratação	Produção	
1	Vila Real de Santo António	Vila Real de Santo António	116.500	Vila Real de Santo António, Monte Gordo, Cacela, Altura, Castro Marim, Monte Francisco, São Bartolomeu, Praia Verde				116.500		Lagoa Arejadas+UV	S+D	aeróbia	Centrifuga	Contínuo	em funcionamento
1	Almargem	Tavira	48.150	Tavira, Livramento, Luz, Santa Luzia, Santo Estevão, Conceição, Cabanas, Ilha de Tavira, Pedras d'el Rei, Pedras da Rainha	21.000	48.000	21.217	48.152		LA+UV	S+D	aeróbia	Centrifuga	Contínuo	em funcionamento
1	Santa Catarina da Fonte do Bispo	Tavira	3.000	Santa Catarina da Fonte do Bispo	600	2.400	600	3.100	A reabilitar	LA	S	aeróbia	leitos secagem	Descontínuo	em funcionamento
1	Almada d'Ouro	Castro Marim	2.800	Azinhal, Almada d'Ouro	500	1.800	500	2.000	A construir	LA	S	aeróbia	Filtro banda	Contínuo	projeto por efetuar
1	Martinlongo	Alcoutim	1.250	Martinlongo	900	1.000	900	1.200	A remodelar	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	projeto de remodelação em curso
1	Alcoutim	Alcoutim	800	Alcoutim	500	625	500	750	não prevista	LA	S	aeróbia	leitos secagem	Descontínuo	em funcionamento
1	Quinta do Sobral	Castro Marim	800	Quinta do Sobral	100	500	100	500	não prevista	LA	S	aeróbia	desidratação noutra ETAR	Descontínuo	em funcionamento
1	Balurcos	Alcoutim	600	Balurcos	400	500	400	600	não prevista	LA	S	aeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
1	Odeleite	Castro Marim	600	Odeleite	370	430	370	500	A remodelar	leitos plantas	S	Por definir	Equipamento móvel	Descontínuo	projecto por efectuar
1	Vaqueiros	Alcoutim	500	Vaqueiros	200	250	200	250	A remodelar	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	projecto de remodelação em curso
1	Cachopo	Tavira	500	Cachopo	350	400	350	450	obras de remodelação em curso	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento

Sistema Multimunicipal de Saneamento do Algarve - Listagem das ETAR existentes e previstas: ponto de situação em 2016

Zona	Designação	Município	Capacidade tratamento (hab. eq.)	Principais localidades servidas	População prevista servir ( hab.)				Intervenção prevista na ETAR	Tratamento fase líquida		Tratamento fase sólida			Obs.
					2006 (EB)	2006 (EA)	2025 (EB)	2025 (EA)		Tipo	Nível	Estabilização	Desidratação	Produção	
1	Pessegueiro	Alcoutim	350	Pessegueiro	260	290	260	300	não prevista	LA	S	aeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
1	Santa Marta	Alcoutim	350	Santa Marta	250	300	250	300	A construir	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	projecto concluído
1	Cortes Pereiras	Alcoutim	350	Cortes Pereiras	240	290	240	300	A construir	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	projecto concluído
1	Giões	Alcoutim	270	Giões	170	200	170	200	A remodelar	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	projecto de remodelação em curso
1	Pereiro	Alcoutim	270	Pereiro	100	130	100	150	A remodelar	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	projecto de remodelação em curso
1	Furnazinhas	Castro Marim	200	Furnazinhas	120	160	120	180	não prevista	LA	S	aeróbia	desidratação noutra ETAR	Descontínuo	em funcionamento
1	Santa Justa	Alcoutim	200	Santa Justa	150	160	150	160	A construir	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	projecto concluído
1	Alcarias	Alcoutim	200	Alcarias	100	120	100	120	A construir	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	projecto concluído
2	Vilamoura	Loulé	138.160	Vilamoura, Quarteira, Vila Sol, Duas Senteiras, Boliqueime	25.602	109.421	31.882	138.164		(LP+LA)+UV	S+D	aeróbia	Filtro banda	Contínuo	em funcionamento
2	Faro Nascente	Faro	87.500	Faro (parte), São Brás de Alportel, Alportel, Vilarinhos, Estoi, Conceição	38.000	53.000	55.000	87.200	A reabilitar	LE	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Contínuo	Empreitada a decorrer; previsão da conclusão das obras em 2018
2	Faro Noroeste	Faro	44.530	Faro (parte), Montenegro, Gambelas, Praia de Faro, São João da Venda, Esteval	29.399	38.882	34.106	44.530	não prevista	LA+UV	S+D	aeróbia	Centrifuga	Contínuo	em funcionamento
2	Olhão Poente	Olhão	45.000	Olhão, Pechão, Brancanes, Belamandil	28.600	43.000	26.585	45.130	A reabilitar	LA+UV	S+D	aeróbia	Centrifuga	Contínuo	Empreitada a decorrer; previsão da conclusão das obras em 2018
2	Quinta do Lago	Loulé	27.000	Quinta do Lago, Vale do Garrão, Almansil	7.000	11.500	15.500	27.000	não prevista	LA+Biofiltros+Químico+UV	T+D	anaeróbia	Centrifuga	Contínuo	em funcionamento
2	Loulé	Loulé	25.950	Loulé	14.000	23.000	14.600	26.000	não prevista	VO+UV	S+D	aeróbia	Centrifuga	Contínuo	em funcionamento



Sistema Multimunicipal de Saneamento do Algarve - Listagem das ETAR existentes e previstas: ponto de situação em 2016

Zona	Designação	Município	Capacidade tratamento (hab. eq.)	Principais localidades servidas	População prevista servir ( hab.)				Intervenção prevista na ETAR	Tratamento fase líquida		Tratamento fase sólida			Obs.
					2006 (EB)	2006 (EA)	2025 (EB)	2025 (EA)		Tipo	Nível	Estabilização	Desidratação	Produção	
2	Olhão Nascente	Olhão	28.700	Zona Industrial de Olhão, Fuseta, Moncarapacho, Quelfes, Ilha da Armona, Ilha da Culatra, Marim, Quatrim	8.000	19.000	8.000	21.000	não prevista	LA+UV	S+D	aeróbia	Filtro banda	Contínuo	em funcionamento
2	Vale de Lobo	Loulé	8.100	Vale de Lobo	400	7.000	400	7.900	por definir	VO+LE+UV	S+D	aeróbia	leitos secagem	Contínuo	em funcionamento
2	Salir	Loulé	4.200	Salir	1.100	4.000	1.200	4.215	A construir	LA+UV	T+D	aeróbia	Centrifuga	Contínuo	em funcionamento
2	Alte	Loulé	4.100	Alte, Santa Margarida	900	3.200	1.300	4.113	A construir	LA+UV	T+D	aeróbia	desidratação noutra ETAR	Descontínuo	em funcionamento
2	Parragil	Loulé	1.430	Parragil	1.000	100	1.200	1.350	A construir	LA+UV	S+D	aeróbia	desidratação noutra ETAR	Descontínuo	projecto em curso
2	Ameixial	Loulé	1.000	Ameixial	500	650	500	730	não prevista	LA+Desinfecção	S	aeróbia	leitos secagem	Contínuo	em funcionamento
2	Benafim	Loulé	1.000	Benafim	500	900	500	1.000	não prevista	LA+Desinfecção	S+D	aeróbia	leitos secagem	Contínuo	em funcionamento
2	Querença	Loulé	1.000	Querença	150	400	160	460	não prevista	LA+Desinfecção	S+D	aeróbia	leitos secagem	Contínuo	em funcionamento
2	Tôr	Loulé	430	Tôr, Funchais	470	800	490	850	por definir	SBR	S	aeróbia	desidratação noutra ETAR	Contínuo	em funcionamento
3	Albufeira Poente	Albufeira	133 900	Orada, Galé, Armação de Pêra, Pêra, Alcantarilha, Algoz, Tunes, Porches, Alporchinhos	17.000	66.000	36.930	133.900		LA+UV+ES	S+D	aeróbia	Centrifuga	Contínuo	em funcionamento
3	Vale Faro	Albufeira	130.000	Albufeira, Areias de São João, Oura, Montechoro, Olhos de Água, Balaia, Santa Eulália	12.000	124.000	13.000	130.000	não prevista	LA+UV	S+D	aeróbia	Centrifuga	Contínuo	em funcionamento
3	Boavista	Lagoa	33.180	Boavista, Carvoeiro, Sesmarias	11.060	22.120	16.590	33.180		LA	S	aeróbia	Centrifuga	Contínuo	em funcionamento
3	Ferreiras	Albufeira	22.160	Ferreiras	3.000	4.300	3.300	4.900		LA+UV	S+D	aeróbia	Filtros banda	Contínuo	em funcionamento
3	Silves	Silves	15.300	Silves, Estação	11.400	15.000	11.900	15.300		LP+UV	S+D	anaeróbia	Filtros banda	Contínuo	em funcionamento

Sistema Multimunicipal de Saneamento do Algarve - Listagem das ETAR existentes e previstas: ponto de situação em 2016

Zona	Designação	Município	Capacidade tratamento (hab. eq.)	Principais localidades servidas	População prevista servir ( hab.)				Intervenção prevista na ETAR	Tratamento fase líquida		Tratamento fase sólida			Obs.
					2006 (EB)	2006 (EA)	2025 (EB)	2025 (EA)		Tipo	Nível	Estabilização	Desidratação	Produção	
3	Pinhal do Concelho	Albufeira	10.000	Aldeia das Açoteias, Alfamar, Várzeas de Quarteira, Patã	1.000	8.800	1.100	10.000	por definir	LA+UV	T+D	aeróbia		Contínuo	em funcionamento
3	Lagoa	Lagoa	8.250	Lagoa	5.700	6.600	7.200	8.300	A remodelar	LP	S	anaeróbia		Contínuo	em funcionamento
3	S. Bartolomeu de Messines	Silves	6.000	São Bartolomeu de Messines, Amorosa	4.000	6.000	5.000	6.000	não prevista	LE	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
3	Paderne	Albufeira	2.500	Paderne, Purgatório	1.200	1.800	1.300	2.000	por definir	LP+UV	T+D	anaeróbia	leitos secagem	Descontínuo	em funcionamento
3	S. Marcos da Serra	Silves	1.000	S. Marcos da Serra	600	1.000	700	1.100	A construir	leitos plantas	S	Por definir	Por definir	Descontínuo	projecto em curso
4	Companheira	Portimão	198.000	Portimão, Praia da Rocha, Alvor, Figueira, Mexilhoeira Grande, Ferragudo, Parchal, Mexilhoeira da Carregação, Monchique, Caldas de Monchique, Porto de Lagos	57.000				Construção em curso	LA+UV	S+D	aeróbia	Centrifuga	Contínuo	Empreitada a decorrer; previsão da conclusão das obras em 2018
4	Lagos	Lagos	138.000	Lagos, Praia da Luz, Bensafim, Odeixe, Chínico, Meia Praia	32.889	77.488	86.247	138.000	A reabilitar	(LP+LA)+UV	S+D	anaeróbia	Centrifuga	Contínuo	A linha de LP não está em serviço.
4	Burgau/Cardal	Vila do Bispo	10.000	Burgau, Cardal	1.100	2.600	1.200	3.000	não prevista	LE	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
4	Aljezur	Aljezur	6.500	Aljezur, Igreja Nova	1.200	6.400	1.200	6.500	não prevista	VO+UV	S+D	aeróbia	Filtro banda	Contínuo	em funcionamento
4	Odeixe	Aljezur	5.420	Odeixe, Baiona, São Miguel	700	4.736	1.850	5.416	A remodelar e ampliar	LP+UV	S+D	anaeróbia	desidratação noutra ETAR	descontínuo	em funcionamento
4	Vale da Telha	Aljezur		Vale da Telha (parte), Monte Clérigo, Espartal						LA leitos de plantas	S			Descontínuo	
4	Figueira/Salema	Vila do Bispo	4.420	Figueira, Salema	1.500	1.600	4.900	5.800	A remodelar	LE+UV	S+D	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
4	Vila do Bispo	Vila do Bispo	2.800	Vila do Bispo	3.100	4.000	8.500	13.500		VO+UV	S+D	aeróbia	Centrifuga	Contínuo	em funcionamento
4	Marmeleite	Monchique	1.000	Marmeleite	300	960	300	960	não prevista	LA	S	aeróbia	leitos de secagem	Descontínuo	em funcionamento

Sistema Multimunicipal de Saneamento do Algarve - Listagem das ETAR existentes e previstas: ponto de situação em 2016

Zona	Designação	Município	Capacidade tratamento (hab. eq.)	Principais localidades servidas	População prevista servir ( hab.)				Intervenção prevista na ETAR	Tratamento fase líquida		Tratamento fase sólida			Obs.
					2006 (EB)	2006 (EA)	2025 (EB)	2025 (EA)		Tipo	Nível	Estabilização	Desidratação	Produção	
4	Rogil	Aljezur	1.730	Rogil	453	680	1.497	1.724		LE	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
4	Almádena	Lagos	1.260	Almádena	460	750	660	1.260	não prevista	LE	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
4	Barão de S. João	Lagos	1.270	Barão de São João			383	1.273	não prevista	LE	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
4	Barão de S. Miguel	Vila do Bispo	840	Barão de São Miguel	500	1.100	500	1.100	não prevista	LE	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
4	Budens	Vila do Bispo	700	Budens	600	1.000	600	1.100	não prevista	LE	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
4	Carrapateira	Aljezur	500	Carrapateira	200	450	200	500	A construir	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	projecto em curso
4	Maria Vinagre	Aljezur	500	Maria Vinagre	160	380	160	460	não prevista	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
4	Praia de Odeceixe	Aljezur	400	Praia de Odeceixe	15	380	14	400	não prevista	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
4	Alferce	Monchique	400	Alferce	200	400	200	400	A construir	LA	S	aeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	obra em curso
4	Vale de Boi	Vila do Bispo	500	Vale de Boi	85	225	112	300	A remodelar	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	projecto de remodelação em curso
4	Bordeira	Aljezur	250	Bordeira	100	200	100	250	não prevista	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
4	Casais	Monchique	300	Casais	200	215	200	230	não prevista	LA	S	aeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	em funcionamento
4	Pedralva	Vila do Bispo	100	Pedralva	44	88	44	88	A remodelar	leitos plantas	S	anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo	projecto de remodelação em curso
<b>Total</b>			<b>1.154.540</b>		<b>324.095</b>	<b>731.680</b>	<b>423.837</b>	<b>1.112.295</b>						<b>66</b>	<b>65</b>

Anexo 2 - Quantidades de nutrientes principais removidos do solo por algumas culturas. Fonte: Dias 2004

Cultura		Produto	Produção (t.ha <sup>-1</sup> )	Exportação (kg.ha <sup>-1</sup> )		
				N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Abóbora	(Cucurbita maxima)	fruto	20	110	28	125
Aipo	(Apium graveolens)	raízes	18	130	50	200
Alcachofra	(Cynara scolymus)	inflorescência	26	220	53	743
Alface	(Latuca sativa)	folhas	25-35	63-88	25-35	150-210
Alho	(Allium sativum)	bolbos	41.913	111-182	43-174	80-415
Alho francês	(Allium porrum)	bolbos	15-50	50-167	30-100	60-200
Arroz	(Oryza sativa)	grão	43.012	49-122	24-60	44-111
Aveia	(Avena sativa)	grão	42.826	23-90	14.885	28-110
Batata primor	(Solanum tuberosum)	tubérculos	15-60	75-300	35-141	158-630
Batata temporã	(Solanum tuberosum)	tubérculos	15-60	75-300	33-133	133-533
Beterraba de mesa	(Beta vulgaris)	raízes	40-65	132-275	48-116	258-572
Beterraba forrag.	(Beta vulgaris)	raízes	50	150	50	250
Beterraba sacarina	(Beta vulgaris)	raízes	61	125	30	160
Cártamo	(Carthamus tinctorius)		1	30	8	11
Cebola	(Allium cepa)	bolbos	15-50	45-150	24-80	66-220
Cenoura	(Daucus carota)	raízes	15-50	72-240	28-93	111-370
Centeio	(Secale cereale)	grão	42.826	33-133	14.885	27-107
Cevada	(Hordeum vulgare)	grão	42.950	54-143	32-86	69-186
Chicória	(Chicorium endivia)	folhas	50	89	40	227
Couve bróculos	(Brassica oleracea var. italica)	inflorescências	20	90	34	84
Couve de Bruxelas	(Brassica olerac. var. gemnifera)	gemas foliares	5	180	60	170
Couve chinesa	(Brassica chinensis)	folhas e talos	60	120-150	40-60	200
Couve comum	(Brassica oleracea)	folhas e talos	35	190	90	180
Couve flôr	(Brassica oleracea var. botrytis)	inflorescências	25	170	70	220
Couve galega	(Brassica oleracea var. acephala)	folhas e talos	11	45	16	39
Couve lombarda	(Brassica oleracea)	folhas e talos	40	320	80	300
Couve repolho	(Brassica oleracea var. capitata)	folhas e talos	35-50	250	85	250
Ervilha	(Pisum sativum)	vagem	43.015	438-625	105-150	228-325
Espargos (4ºano)	(Asparagus officinalis)	turiões	3	75	20	80

Cultura		Produto	Produção (t.ha <sup>-1</sup> )	Exportação (kg.ha <sup>-1</sup> )		
				N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Espinafre	(Spinacea oleracea)	folhas	15	90	30	100
Fava	(Vicia faba)	vagens	41.913	120	30	80
Feijão verde	(Phaseolus vulgaris)	vagens	5	135-	41.487	58-62
Feijão seco	(Phaseolus vulgaris)	vagens	1,5-4,5	45-135	12.724	38-113
Funcho	(Foeniculum dulce)	folhas	30-35	55	20	120
Girassol	(Helianthus annum)	grão	42.826	27-108	17-68	13-52
Luzerna	(Medicago sativa)	planta inteira	50	219	53	190
Melão	(Cucumis melo)	fruto	20-24	49-122	17-23	112-229
Milho grão	(Zea mays)	grão	42.430	83-440	31-165	65-347
Milho forragem	(Zea mays)	planta inteira	40-90	98-220	40-91	133-300
Morango	(Fragaria x ananassa)	fruto	25-50	108	70	190
Nabo	(Brassica napus)	raíz	20-30	100	60	100
Pepino	(Cucumis sativus)	fruto	15-30	47-50	13-40	65-80
Pimento	(Capsicum annum)	fruto	41-54	183-201	47-56	269-277
Salsa	(Petroselinum sativum)	planta inteira	20	55	20	120
Soja	(Glycine max)	grão	2	150	35	60
Tabaco	(Nicotiana tabacum)	folhas	42.796	106-159	59-88	182-274
Tomate	(Lycopersicum) esculentum)	fruto	20-70	63-220	17-60	91-320
Trigo	(Triticum aestivum)	grão	42.950	62-166	26-70	60-160
Vinha	(Vitis vinifera)	fruto	10	80	30	100

**Anexo 3** - Quantidades de nutrientes principais removidos do solo por algumas culturas arbóreas e arbustivas. Fonte: DRAPLVT

Arbóreas e arbustivas	Produção (t.ha <sup>-1</sup> )	Kg de N/ha	
		Produção de referência	Máximo
Abacateiro	12	120	160
Actinídea (kiwi)	30	95	110
Alfarrobeira	5	100	120
Ameixeira	20	55	100
Amendoeira	2	90	135
Citrinos	35	160	200
Damasqueiro	20	60	80
Diospireiro	25	70	100
Figueira	10	80	110
Framboesa	8	55	90
Nogueira	4	90	135
Oliveira	4	55	120
Pessegueiro	30	80	120
Pomóideas (pereiras, macieiras e nespereiras)	40	55	80
Uva de mesa	20	70	130
Uva de vinho	10	45	90